

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»



РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ
З КУРСУ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

За редакцією **В.І.Мілих**

Харків 2003

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**РОЗРАХУНОК
ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ
З КУРСУ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»
для студентів усіх неелектротехнічних спеціальностей
(видання друге стереотипне)
За редакцією **В.І.Мілих**

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 11.10.2001 р.

Харків НТУ «ХП» 2003

Розрахунок параметрів та характеристик електротехнічних пристроїв: Методичні вказівки до розрахунково-графічних робіт з курсу «Електротехніка» для студ. усіх неелектротехнічних спеціальностей / Укладачі В.І. Мілих, І.В. Поляков, А.К. Черкасов; За ред. В.І. Мілих. – Х.арків: НТУ «ХПІ», 2001. - 44 с. (видання друге стереотипне)

Укладачі: **В.І. Мілих**
І.В. Поляков
А.К. Черкасов

За редакцією **В.І. Мілих**

Рецензент **В.Г. Данько**

Кафедра загальної електротехніки

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Це видання присвячено розрахунково-графічній роботі з дисципліни "Електротехніка" за темою **"Розрахунок параметрів та характеристик електротехнічних пристроїв"**.

Метою роботи є закріплення теоретичних знань і відпрацювання практичних навичок розрахунку таких електричних пристроїв, як: **однофазні трансформатори, двигуни постійного струму з паралельним та послідовним збудженням, трифазні асинхронні двигуни**.

Тут сформульовані чотири контрольні задачі, подані варіанти вхідних даних до них, а також наведено приклади розрахунків типових задач. Конкретний обсяг роботи уточнює викладач, який веде курс лекцій з вказаної дисципліни.

Варіанти вхідних даних до конкретних задач подано в таблицях 1-4, а на сторінці 25 надано заголовки цих таблиць. Достатньо скопіювати цю сторінку і вписати до неї конкретні вхідні дані свого варіанту та, користуючись цією таблицею, виконати потрібні розрахунки.

Звіт про розрахунково-графічну роботу повинен бути акуратним, виконаним згідно з встановленою формою. Він починається з титульного листа, зразок якого наведено на рис.1. При оформленні звіту необхідно наводити повністю постановку задач і відповідні вхідні дані за своїм варіантом, супутні схеми, порядок розрахунків і його результати та графіки.

Схеми креслять за допомогою інструментів згідно з ДСТУ. Графіки залежностей доцільно виконувати на міліметровому папері з зазначенням на осях стандартних буквених позначень величин і одиниць вимірювань.

Міністерство освіти і науки України		
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»		
Кафедра загальної електротехніки		
Розрахунково-графічна робота		
РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ		
Роботу виконав :		
студент _____	група _____	_____
(прізвище, ініціали)	(індекс)	(дата виконання)
Звіт прийняв _____ керівник _____		
(дата)	(оцінка)	(посада , прізвище, ініціали)
Харків НТУ «ХПІ» (рік)		

Рисунок 1

2. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Параметри та характеристики однофазного трансформатора

Фізичну модель однофазного трансформатора, до вторинної обмотки якого підключено навантаження Z_H , зображено на рис.2,а. На рис.2,б подано умовне позначення трансформатора T в схемах.

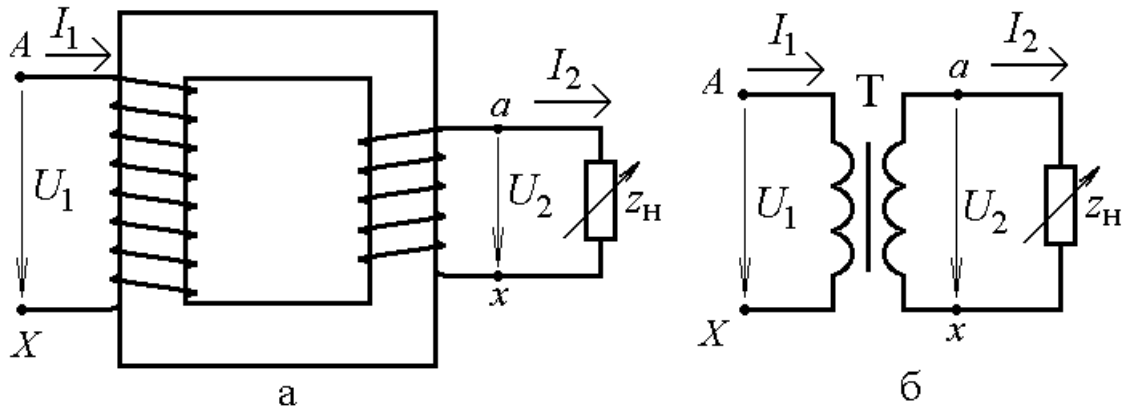


Рисунок 2

Варіанти паспортних даних однофазних трансформаторів наведено в табл.1. Будемо вважати, що первинна обмотка трансформатора є обмоткою вищої напруги (ВН), а вторинна – обмоткою нижчої напруги (НН). Для заданого варіанта необхідно визначити:

- 1) коефіцієнт трансформації;
- 2) номінальні струми обмоток, струм первинної обмотки в режимі холостого ходу (ХХ) і струм аварійного короткого замикання (КЗ) цієї ж обмотки;
- 3) залежність коефіцієнта корисної дії (ККД) від струму навантаження трансформатора (побудувати графік цієї залежності $\eta(\beta)$, де $\beta = I_2 / I_{2\text{ном}}$ – коефіцієнт навантаження, тобто відношення струму вторинної обмотки до його номінального значення);
- 4) залежність напруги на вихідних затискачах трансформатора від коефіцієнта навантаження (побудувати цю залежність, яка називається зовнішньою характеристикою, у вигляді $U_2(\beta)$).

У табл.1 позначені: $S_{\text{ном}}$ – повна номінальна потужність; $U_{\text{ВНном}}$, $U_{\text{ННном}}$ – номінальні напруги обмоток ВН і НН; i_x , P_0 – струм і втрати потужності у режимі ХХ; P_k , u_k – втрати потужності і напруга у режимі дослідного КЗ (i_x і u_k подані в відсотках від номінальних величин, відповідно, струму і напруги первинної обмотки $I_{1\text{ном}}$ та $U_{1\text{ном}}$); $\cos\varphi_H$ – коефіцієнт потужності навантаження Z_H , яке підключається до трансформатора.

Принцип розрахунку задачі 1 подано нижче в прикладах 1-3.

Задача 2. Параметри та характеристики двигуна постійного струму з паралельним збудженням

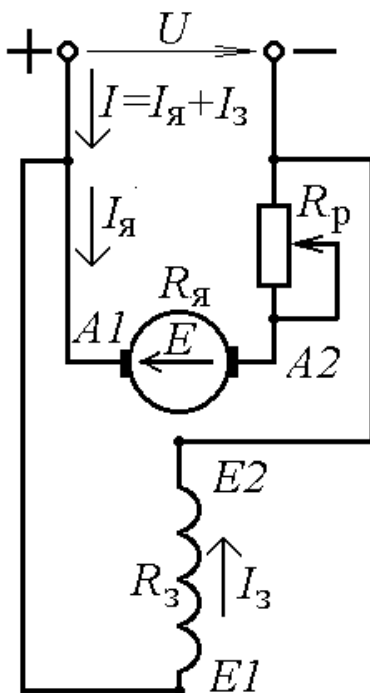


Рисунок 3

На рис.3 зображено електричну схему вмикання двигуна постійного струму (ДПС) з паралельним збудженням. Варіанти паспортних даних цих двигунів наведено в табл.2, де позначено $P_{2\text{ном}}$, $U_{\text{ном}}$, $\eta_{\text{ном}}$, $n_{\text{ном}}$ – відповідно, номінальні потужність, напруга, ККД і частота обертання; $R_{\text{я}}$ - опір якорного кола; $R_{\text{з}}$ – опір обмотки збудження.

Для заданого варіанта даних необхідно виконати таке.

1. Для номінального режиму роботи визначити струм $I_{\text{ном}}$, споживаний двигуном з мережі; струм збудження $I_{\text{з,ном}}$; сумарні втрати потужності в двигуні $\Delta P_{\text{ном}}$; електромагнітну потужність $P_{\text{ЕМ ном}}$; електро-рушійну силу (ЕРС) $E_{\text{ном}}$.
2. Визначити частоту обертання якоря n_0 у режимі ідеального холостого ходу.
3. Побудувати природну механічну характеристику $n(M)$, де n , M – частота обертання і обертаючий момент якоря.
4. Аналітично або, використовуючи побудовану за п.3 характеристику $n(M)$, визначити частоту обертання якоря при обертаючому моменті $M = 0,6 M_{\text{ном}}$.
5. Побудувати штучну механічну характеристику $n(M)$ при номінальній напрузі $U_{\text{ном}}$, якщо у коло якоря ввімкнутий регулювальний реостат з опором $R_{\text{р}} = 2,5 R_{\text{я}}$ (рис.3).
6. Визначити опір $R_{\text{р}}$ регулювального реостата, який треба увімкнути у коло якоря (рис.3) для обмеження пускового струму якоря до $I_{\text{я пуск}} = 2,4 I_{\text{я ном}}$, якщо двигун вмикається при пуску на номінальну напругу $U_{\text{ном}}$.
7. Знайти величину напруги живлення при пуску $U_{\text{пуск}}$, до якої її треба знизити при вмиканні двигуна, щоб пусковий струм якоря $I_{\text{я пуск}}$ не перевищував би $I_{\text{я пуск}} = 2,3 I_{\text{я ном}}$ без вмикання додаткових опорів.

Принцип розрахунку задачі 2 подано нижче в прикладах 4-6.

Задача 3. Параметри та характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням.

Для ДПС з послідовним збудженням електрична схема вмикання зображена на рис.4. Варіанти номінальних даних цих двигунів наведено в табл.3, де

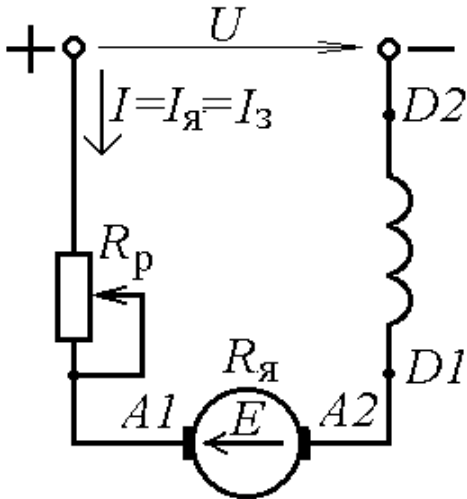


Рисунок 4

позначено: $P_{2\text{ном}}$, $U_{\text{ном}}$, $n_{\text{ном}}$, $\eta_{\text{ном}}$ – відповідно, номінальні потужність, напруга, частота обертання та ККД; $R_{\text{я}}$ – опір якійного кола.

Криву намагнічування ДПС $\Phi(I)$ у відносних одиницях $k_{\Phi}(k_I)$ зображено на рис.5, де $k_I = I / I_{\text{ном}}$ – кратність струму збудження (який одночасно є і струмом якоря); $k_{\Phi} = \Phi / \Phi_{\text{ном}}$ – кратність магнітного потоку збудження ($I_{\text{ном}}$, $\Phi_{\text{ном}}$ – номінальні значення відповідних величин).

Для заданого варіанта даних необхідно виконати таке.

1. Для номінального режиму роботи визначити: потужність, споживану двигуном з мережі $P_{1\text{ном}}$; струм $I_{\text{ном}}$; сумарні втрати потужності в двигуні $\Delta P_{\text{ном}}$; ЕРС обмотки

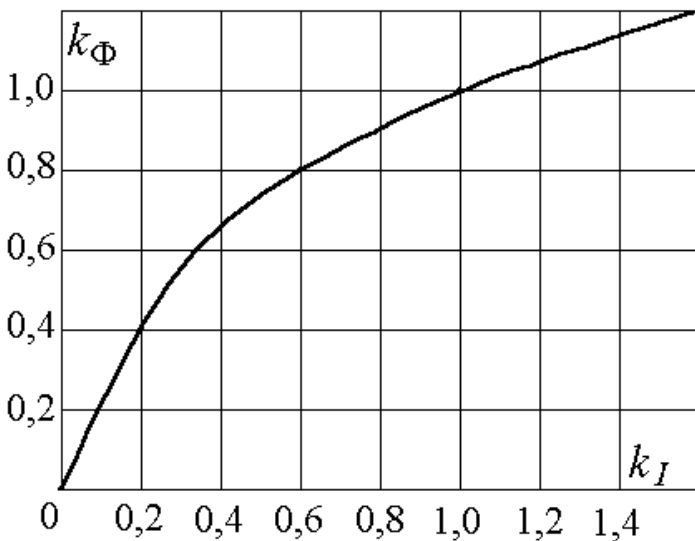


Рисунок 5

якоря $E_{\text{ном}}$; обертаючий момент $M_{\text{ном}}$; корисний момент на валу двигуна $M_{2\text{ном}}$.

2. Побудувати природну механічну характеристику двигуна $n(M)$, де n – частота обертання якоря, M – обертаючий момент якоря.

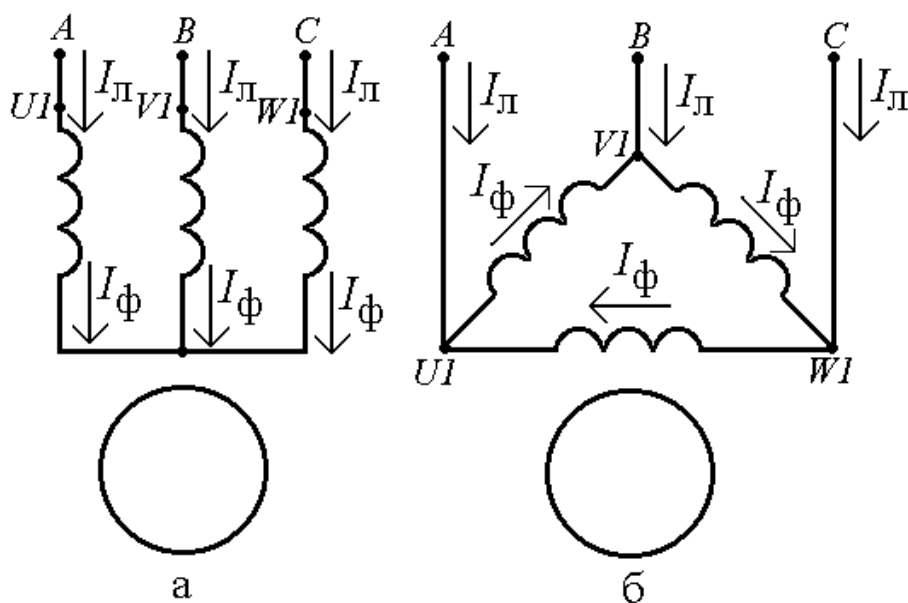
3. Побудувати штучну механічну характеристику $n(M)$ при номінальній напрузі $U_{\text{ном}}$, якщо у коло якоря ввімкнутий регулювальний реостат з опором $R_p = 2,5R_{\text{я}}$ (рис.4).

4. Використовуючи побудовані по п.п.2 і 3 характеристики $n(M)$, визначити частоти обертання двигуна при зниженні обертаючого моменту на 60 %, а також при збільшенні його на 15 % від номінального значення при увімкненому регулювальному реостаті R_p та при його відсутності.

5. Визначити частоту обертання якоря при номінальному обертаючому моменті $M_{\text{ном}}$ зі зниженням напруги живлення двигуна на 15 % від номінального значення $U_{\text{ном}}$.

Принцип розрахунку задачі 3 подано нижче в прикладах 7-8.

Задача 4. Параметри та характеристики трифазного асинхронного двигуна



Електричну схему трифазного асинхронного двигуна зображено на рис.6.

Варіанти даних цих двигунів наведено в табл.4.

Номінальна напруга цих двигунів 220/380 В (фазна/лінійна) при частоті $f=50$ Гц.

В табл.4 позначено: $P_{2\text{ном}}$ – номі-

нальна потужність; p -число пар полюсів, утворюваних обмоткою статора; $S_{\text{ном}}$ – номінальне ковзання; $\lambda_M = M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$ – перевантажувальна здатність з обертаючого моменту (M_{max} , $M_{\text{ном}}$ – його максимальне і номінальне значення); $\lambda_I = I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$ – кратність пускового струму ($I_{\text{пуск}}$, $I_{\text{ном}}$ – пускове і номінальне значення струму, споживаного з мережі); $\cos\varphi_{1\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт потужності. Також задано схему з'єднання обмоток статора (З - зірка, рис.6,а, Т - трикутник, рис.6,б).

Відповідно цим даним треба виконати таке завдання:

1. Вибрати лінійну напругу живильної трифазної мережі U_c .
2. Визначити синхронну частоту обертання поля статора n_1 , номінальну $n_{2\text{ном}}$ і критичну $n_{2\text{кр}}$ частоти обертання ротора.

3. Визначити потужність $P_{1\text{ном}}$, яку двигун споживає з мережі, і сумарні втрати потужності в двигуні $\Delta P_{\text{ном}}$ у номінальному режимі; номінальний $I_{\text{ном}}$ і пусковий $I_{\text{пуск}}$ струми двигуна, його номінальний $M_{\text{ном}}$ і максимальний M_{max} обертаючі моменти.

4. Розрахувати і побудувати графік залежності $M(S)$, де M – обертаючий момент, S – ковзання ротора. З цієї залежності визначити пусковий обертаючий момент двигуна $M_{\text{пуск}}$ і кратність цього моменту $k_{\text{пуск}} = M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$.

5. Розрахувати і побудувати в одній координатній системі три механічних характеристики – залежності $n_2(M)$, де n_2 – частота обертання ротора, за такими умовами:

а) природну механічну характеристику при заданій напрузі мережі U_c (як у п.3), а також визначити з неї діапазон частот обертання ротора, при яких можлива стійка робота двигуна;

б) штучну механічну характеристику при зниженій напрузі живильної мережі на 15%, тобто при $U = 0,85U_c$;

в) штучну механічну характеристику при умові, що сумарний активний опір у кожній фазі обмотки ротора став у 2,2 рази більшим, ніж у двигуна, для якого розраховані попередні характеристики, тобто $R'_2 = 2,2R_2$ (це можливо, якщо б даний двигун був двигуном з фазним ротором (рис.7), і тоді б у фазі обмотки ротора можна було увімкнути регульовальні реостати з опорами R_p , що дорівнюють R_2); при цьому індуктивний опір фаз обмотки ротора X_{20} не змінюється; напругу мережі вважати рівною U_c .

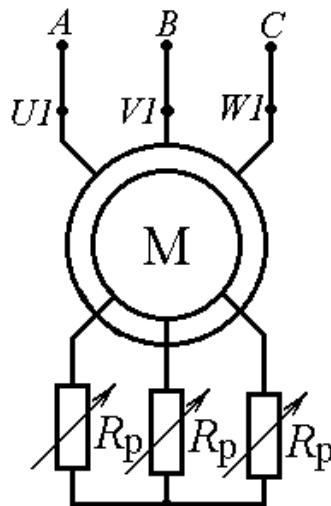


Рисунок 7

Принцип розрахунку задачі 4 подано нижче в прикладах 9-13.

3. ВАРІАНТИ ВХІДНИХ ДАНИХ

Таблиця 1 – Параметри однофазного трансформатора і його навантаження

№ ва- рі- ан- та	Повна потуж- ність, кВА	Номінальні на- пруги обмоток, В		Струм XX, %	Втрати потужності, Вт		Напру- га КЗ, %	Коефіцієнт поту- жності активно- індуктивного навантаження
		ВН	НН		XX	КЗ		
		$S_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{ВННОМ}}$	$U_{\text{НННОМ}}$	i_{X}	P_0	$P_{\text{К}}$	$u_{\text{К}}$
1	0,25	660	230	17,6	6	18	7,3	0,90
2	0,25	380	230	17,5	6	18	7,2	0,85
3	0,5	660	230	15,9	11	32	6,7	0,90
4	0,5	380	230	15,9	10	32	6,6	0,85
5	0,63	660	230	14,3	11	36	6,0	0,90
6	0,63	380	230	14,2	11	36	6,0	0,85
7	1	660	230	12,6	15	50	5,4	0,90
8	1	380	230	12,5	15	49	5,3	0,85
9	1,6	660	230	10,9	20	68	4,6	0,90
10	1,6	380	230	10,8	20	67	4,6	0,85
11	2,5	660	230	9,1	25	88	3,9	0,90
12	2,5	380	230	9,0	25	86	3,8	0,85
13	4	660	230	8,3	35	125	3,5	0,90
14	4	380	230	8,2	34	122	3,5	0,85
15	6,3	660	230	9,6	60	223	4,1	0,90
16	6,3	380	230	9,5	59	218	4,0	0,85
17	10	660	230	9,2	88	333	3,9	0,90
18	10	380	230	9,1	85	325	3,8	0,85
19	16	660	230	9,1	131	509	3,8	0,90
20	16	380	230	8,9	127	497	3,7	0,85
21	0,25	660	133	17,5	6	18	7,2	0,85
22	0,25	380	133	17,4	6	17	7,1	0,80
23	0,25	220	133	17,3	6	17	7,0	0,75
24	0,5	660	133	15,9	10	32	6,6	0,85
25	0,5	380	133	15,7	10	31	6,5	0,80

Продовження таблиці 1

№ ва- рі- ан- та	Повна потуж- ність, кВА	Номинальні напру- ги обмоток, В		Струм XX, %	Втрати потужності, Вт		На- пруга КЗ, %	Коефіцієнт поту- жності активно- індуктивного навантаження
		ВН	НН		XX	КЗ		
	$S_{\text{ном}}$	$U_{\text{ВНном}}$	$U_{\text{ННном}}$	i_x	P_0	P_K	u_K	$\cos \varphi_H$
26	0,5	220	133	15,6	10	30	6,3	0,75
27	0,63	660	133	14,2	11	36	6,0	0,85
28	0,63	380	133	14,1	11	35	5,8	0,80
29	0,63	220	133	13,9	11	34	5,7	0,75
30	1	660	133	12,5	15	49	5,3	0,85
31	1	380	133	12,3	14	48	5,1	0,80
32	1	220	133	12,1	14	46	5,0	0,75
33	1,6	660	133	10,8	20	67	4,6	0,85
34	1,6	380	133	10,6	19	64	4,4	0,80
35	1,6	220	133	10,3	18	62	4,2	0,75
36	2,5	660	133	9,0	24	86	3,8	0,85
37	2,5	380	133	8,7	23	82	3,6	0,80
38	2,5	220	133	8,5	22	78	3,5	0,75
39	4	660	133	8,2	34	122	3,5	0,85
40	4	380	133	7,9	32	116	3,3	0,80
41	4	220	133	7,6	30	110	3,1	0,75
42	6,3	660	133	9,5	59	218	4,0	0,85
43	6,3	380	133	9,2	56	208	3,8	0,80
44	6,3	220	133	9,0	54	198	3,6	0,75
45	10	660	133	9,1	85	325	3,8	0,85
46	10	380	133	8,8	81	309	3,6	0,80
47	10	220	133	8,6	77	293	3,4	0,75
48	16	660	133	8,9	127	497	3,7	0,85
49	16	380	133	8,7	121	471	3,5	0,80
50	16	220	133	8,4	114	446	3,3	0,75

Продовження таблиці 1

№ ва- рі- ан- та	Повна потуж- ність, кВА	Номинальні на- пруги обмоток, В		Струм XX, %	Втрати потужності, Вт		На- пруга КЗ, %	Коефіцієнт поту- жності активно- індуктивного навантаження
		ВН	НН		XX	КЗ		
	$S_{\text{ном}}$	$U_{\text{ВНном}}$	$U_{\text{ННном}}$	i_x	P_0	P_K	u_K	$\cos \varphi_H$
51	0,25	660	115	17,5	6	17	7,2	0,80
52	0,25	380	115	17,3	6	17	7,0	0,75
53	0,25	220	115	17,1	5	16	6,7	0,70
54	0,5	660	115	15,8	10	31	6,6	0,80
55	0,5	380	115	15,6	10	30	6,3	0,75
56	0,5	220	115	15,4	9	29	6,1	0,70
57	0,63	660	115	14,1	11	35	5,9	0,80
58	0,63	380	115	13,9	11	34	5,7	0,75
59	0,63	220	115	13,6	10	32	5,4	0,70
60	1	660	115	12,4	15	48	5,2	0,80
61	1	380	115	12,1	14	46	5,0	0,75
62	1	220	115	11,8	13	44	4,7	0,70
63	1,6	660	115	10,7	19	66	4,5	0,80
64	1,6	380	115	10,3	18	62	4,2	0,75
65	1,6	220	115	10,0	17	58	4,0	0,70
66	2,5	660	115	8,8	24	84	3,7	0,80
67	2,5	380	115	8,5	22	78	3,5	0,75
68	2,5	220	115	8,1	21	72	3,2	0,70
69	4	660	115	8,0	33	119	3,4	0,80
70	4	380	115	7,6	30	110	3,1	0,75
71	4	220	115	7,2	28	100	2,9	0,70
72	6,3	660	115	9,3	58	213	3,9	0,80
73	6,3	380	115	9,0	54	198	3,6	0,75
74	6,3	220	115	8,6	50	184	3,4	0,70
75	10	660	115	9,0	83	317	3,7	0,80

Продовження таблиці 1

№ ва- рі- ан- та	Повна потуж- ність, кВА	Номинальні на- пруги обмоток, В		Струм XX, %	Втрати потужності, Вт		На- пруга КЗ, %	Коефіцієнт поту- жності активно- індуктивного навантаження
		ВН	НН		XX	КЗ		
	$S_{\text{ном}}$	$U_{\text{ВНном}}$	$U_{\text{ННном}}$	i_x	P_0	P_K	u_K	$\cos \varphi_H$
76	10	380	115	8,6	77	293	3,4	0,75
77	10	220	115	8,1	71	269	3,2	0,70
78	16	660	115	8,8	124	484	3,6	0,80
79	16	380	115	8,4	114	446	3,3	0,75
80	16	220	115	8,0	105	408	3,1	0,70
81	0,25	660	26	17,4	6	17	7,1	0,75
82	0,25	380	26	17,2	6	17	6,8	0,70
83	0,25	220	26	16,9	5	16	6,5	0,65
84	0,5	660	26	15,7	10	31	6,5	0,75
85	0,5	380	26	15,5	10	30	6,2	0,70
86	0,5	220	26	15,2	9	28	5,9	0,65
87	0,63	660	26	14,1	11	35	5,8	0,75
88	0,63	380	26	13,7	10	33	5,5	0,70
89	0,63	220	26	13,4	10	31	5,2	0,65
90	1	660	26	12,3	14	48	5,1	0,75
91	1	380	26	11,9	14	45	4,8	0,70
92	1	220	26	11,5	13	41	4,5	0,65
93	1,6	660	26	10,6	19	64	4,4	0,75
94	1,6	380	26	10,1	18	59	4,1	0,70
95	1,6	220	26	9,6	16	54	3,8	0,65
96	2,5	660	26	8,7	23	82	3,6	0,75
97	2,5	380	26	8,2	21	74	3,3	0,70
98	2,5	220	26	7,6	19	66	3,0	0,65
99	4	660	26	7,9	32	116	3,3	0,75

Таблиця 2 – Параметри двигуна постійного струму з паралельним збудженням

№ ва-рі-анта	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом	Опір обмотки збудження, Ом
	$P_{2\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$R_{\text{я}}$	$R_{\text{з}}$
1	4	220	900	0,723	1,60	191
2	3,15	220	750	0,693	2,38	255
3	2	220	450	0,576	3,16	199
4	4,25	220	730	0,680	1,61	110
5	3	220	475	0,603	3,14	139
6	3,55	220	425	0,601	2,67	117
7	15	220	1400	0,779	0,37	103
8	7,5	220	1000	0,760	0,79	175
9	6	220	875	0,740	0,80	85
10	4,25	220	580	0,650	1,84	105
11	11	220	1060	0,785	0,45	100
12	8,5	220	875	0,760	0,62	98
13	8	220	600	0,680	0,85	58
14	11	220	800	0,760	0,48	73
15	8,5	220	515	0,680	0,93	91
16	15	220	850	0,807	0,21	45
17	11	220	530	0,705	0,56	46
18	15	220	580	0,753	0,34	44
19	17	220	500	0,730	0,33	34
20	20	220	475	0,750	0,26	32
21	7,5	440	2120	0,871	1,54	1124
22	5,5	440	1450	0,814	3,06	964
23	4,25	440	975	0,740	5,93	971
24	3,14	440	730	0,690	9,64	994
25	7,5	440	1450	0,825	1,54	414

Продовження таблиці 2

№ ва- рі- анта	Потуж- ність, кВт	Напруга, В	Частота обертання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом	Опір обмотки збудження, Ом
	$P_{2\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$R_{\text{я}}$	$R_{\text{з}}$
26	5,5	440	900	0,741	4,96	1304
27	4,25	440	690	0,674	6,62	438
28	10	440	1320	0,812	1,23	260
29	7,5	440	975	0,810	2,53	1045
30	5,5	440	690	0,708	5,24	671
31	30	440	3070	0,871	0,38	278
32	18,5	440	2180	0,850	0,63	264
33	15	440	1400	0,800	1,33	481
34	5,5	440	800	0,730	3,74	367
35	30	440	2300	0,863	0,42	278
36	22	440	1600	0,830	0,75	365
37	11	440	1090	0,800	1,53	352
38	8,5	440	800	0,750	2,77	459
39	23,6	440	1400	0,830	0,70	340
40	15	440	1030	0,810	1,15	341
41	11	440	825	0,780	1,72	325
42	30	440	1450	0,840	0,44	171
43	18,5	440	1090	0,820	0,65	164
44	15	440	730	0,761	1,32	191
45	22	440	1090	0,845	0,51	185
46	18,5	440	775	0,808	0,79	180
47	30	440	1030	0,855	0,36	160
48	22	440	775	0,813	0,64	157
49	45	440	1450	0,880	0,23	189
50	37	440	1150	0,850	0,32	136

Продовження таблиці 2

№ ва-рі-анта	Потуж-ність, кВт	Напру-га, В	Частота обертання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом	Опір обмотки збудження, Ом
	$P_{2\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$R_{\text{я}}$	$R_{\text{з}}$
51	26,5	440	775	0,780	0,61	99
52	45	440	1060	0,860	0,26	132
53	37	440	825	0,830	0,37	118
54	55	440	1000	0,849	0,25	136
55	75	440	1060	0,873	0,15	103
56	90	440	1000	0,900	0,09	96
57	110	440	1000	0,870	0,11	76
58	132	440	1000	0,870	0,08	49
59	160	440	1000	0,890	0,06	53
60	27	440	500	0,762	0,60	78
61	45	440	750	0,822	0,36	128
62	90	440	1500	0,886	0,11	90
63	37	440	500	0,786	0,56	147
64	55	440	750	0,833	0,29	143
65	110	440	1500	0,891	0,08	78
66	45	440	500	0,790	0,42	98
67	132	440	1500	0,891	0,05	18
68	50	440	500	0,776	0,43	99
69	75	440	750	0,840	0,20	108
70	160	440	1500	0,897	0,05	54
71	90	440	750	0,853	0,15	91
72	200	440	1500	0,903	0,04	43
73	75	440	500	0,822	0,23	100
74	110	440	750	0,867	0,11	76
75	250	440	1500	0,910	0,03	35

Продовження таблиці 2

№ ва- рі- анта	Потуж- ність, кВт	Напру- га, В	Частота обертання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом	Опір обмотки збудження, Ом
	$P_{2\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$R_{\text{я}}$	$R_{\text{з}}$
76	11	220	1000	0,830	0,24	73
77	22	440	600	0,840	0,56	246
78	45	220	750	0,870	0,04	23
79	55	440	500	0,880	0,12	103
80	10	220	1500	0,770	0,35	74
81	15	440	750	0,800	0,82	172
82	37	220	500	0,880	0,04	28
83	11	440	1000	0,830	0,82	292
84	22	220	1500	0,840	0,09	41
85	45	440	1000	0,870	0,07	74
86	55	220	600	0,880	0,04	25
87	10	440	750	0,770	1,87	372
88	15	220	500	0,800	0,27	86
89	37	440	1500	0,880	0,07	92
90	11	220	750	0,830	0,12	60
91	22	440	500	0,840	0,50	184
92	45	220	1000	0,870	0,03	18
93	55	440	1500	0,880	0,08	68
94	10	220	1000	0,770	0,37	74
95	15	440	600	0,800	0,96	344
96	37	220	750	0,880	0,04	28
97	11	440	500	0,830	1,22	486
98	22	220	1500	0,840	0,09	37
99	45	440	750	0,870	0,04	62

Таблиця 3 – Параметри двигуна постійного струму з послідовним збудженням

№ варі- анта	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обер- тання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом
	$P_{2\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$	$R_{\text{я}}$
1	45	220	1000	0,870	0,06
2	22	440	600	0,840	0,64
3	11	220	750	0,830	0,35
4	55	440	500	0,880	0,22
5	37	220	1500	0,880	0,08
6	15	440	750	0,800	1,07
7	10	220	500	0,770	0,46
8	45	440	1000	0,870	0,27
9	22	220	1500	0,840	0,17
10	11	440	1000	0,830	1,49
11	55	220	600	0,880	0,05
12	37	440	750	0,880	0,30
13	15	220	500	0,800	0,29
14	10	440	1500	0,770	1,99
15	45	220	750	0,870	0,07
16	22	440	500	0,840	0,62
17	11	220	1000	0,830	0,34
18	55	440	1500	0,880	0,21
19	37	220	1000	0,880	0,08
20	15	440	600	0,800	1,24
21	10	220	750	0,770	0,45
22	45	440	500	0,870	0,26
23	22	220	1500	0,840	0,17
24	11	440	750	0,830	1,44
25	4	220	900	0,723	1,45

Продовження таблиці 3

№ варі- анта	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обер- тання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом
	$P_{2\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$	$R_{\text{я}}$
26	3,15	220	750	0,693	1,96
27	2	220	450	0,576	3,55
28	4,25	220	730	0,680	1,49
29	3	220	475	0,603	2,32
30	3,55	220	425	0,601	1,96
31	15	220	1400	0,779	0,33
32	7,5	220	1000	0,760	0,71
33	6	220	875	0,740	0,93
34	4,25	220	580	0,650	1,55
35	11	220	1060	0,785	0,45
36	8,5	220	875	0,760	0,62
37	8	220	600	0,680	0,79
38	11	220	800	0,760	0,48
39	8,5	220	515	0,680	0,74
40	15	220	850	0,807	0,30
41	11	220	530	0,705	0,55
42	15	220	580	0,753	0,36
43	17	220	500	0,730	0,34
44	20	220	475	0,750	0,27
45	7,5	440	2120	0,871	1,74
46	5,5	440	1450	0,814	3,20
47	4,25	440	975	0,740	5,26
48	3,14	440	730	0,690	7,91
49	7,5	440	1450	0,825	2,24
50	5,5	440	900	0,741	4,05

Продовження таблиці 3

№ варі- анта	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертан- ня, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом
	$P_{2\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$	$R_{\text{я}}$
51	4,25	440	690	0,674	6,01
52	10	440	1320	0,812	1,77
53	7,5	440	975	0,810	2,38
54	5,5	440	690	0,708	4,37
55	30	440	3070	0,871	0,44
56	18,5	440	2180	0,850	0,80
57	15	440	1400	0,800	1,24
58	5,5	440	800	0,730	4,16
59	30	440	2300	0,863	0,46
60	22	440	1600	0,830	0,75
61	11	440	1090	0,800	1,69
62	8,5	440	800	0,750	2,56
63	23,6	440	1400	0,830	0,69
64	15	440	1030	0,810	1,19
65	11	440	825	0,780	1,81
66	30	440	1450	0,840	0,52
67	18,5	440	1090	0,820	0,93
68	15	440	730	0,761	1,41
69	22	440	1090	0,845	0,69
70	18,5	440	775	0,808	0,97
71	30	440	1030	0,855	0,48
72	22	440	775	0,813	0,80
73	45	440	1450	0,880	0,27
74	37	440	1150	0,850	0,40
75	26,5	440	775	0,780	0,75

Продовження таблиці 3

№ варі- анта	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обер- тання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом
	$P_{2\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$	$R_{\text{я}}$
76	45	440	1060	0,860	0,31
77	37	440	825	0,830	0,44
78	55	440	1000	0,849	0,27
79	75	440	1060	0,873	0,17
80	90	440	1000	0,900	0,12
81	110	440	1000	0,870	0,12
82	132	440	1000	0,870	0,10
83	160	440	1000	0,890	0,07
84	27	440	500	0,762	0,78
85	45	440	750	0,822	0,38
86	90	440	1500	0,886	0,13
87	37	440	500	0,786	0,53
88	55	440	750	0,833	0,29
89	110	440	1500	0,891	0,10
90	45	440	500	0,790	0,43
91	132	440	1500	0,891	0,09
92	50	440	500	0,776	0,40
93	75	440	750	0,840	0,21
94	160	440	1500	0,897	0,07
95	90	440	750	0,853	0,16
96	200	440	1500	0,903	0,05
97	75	440	500	0,822	0,23
98	110	440	750	0,867	0,12
99	250	440	1500	0,910	0,04

Таблиця 4 – Параметри трифазних асинхронних двигунів

№ ва-рі-анта	Схема з'єднання обмотки статора	Потужність, кВт	Число пар полюсів	Номінальне ковзання	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	ККД	Коефіцієнт потужності
		$P_{2ном}$	p	$S_{ном}$	λ_M	λ_I	$\eta_{ном}$	$\cos \varphi_{1ном}$
1	Т	0,09	1	0,086	2,2	5,0	0,600	0,700
2	З	0,12	1	0,097	2,2	5,0	0,630	0,700
3	Т	0,18	1	0,080	2,2	5,0	0,660	0,760
4	З	0,25	1	0,080	2,2	5,0	0,680	0,770
5	Т	0,37	1	0,083	2,2	5,0	0,700	0,860
6	З	0,55	1	0,085	2,2	5,0	0,730	0,860
7	Т	0,75	1	0,080	2,2	5,5	0,770	0,870
8	З	1	1	0,065	2,2	5,5	0,720	0,870
9	Т	1,1	1	0,075	2,2	5,5	0,775	0,870
10	З	1,5	1	0,072	2,2	6,5	0,810	0,850
11	Т	2,2	1	0,069	2,2	6,5	0,830	0,870
12	З	3	1	0,067	2,2	6,5	0,845	0,880
13	Т	4	1	0,065	2,2	7,5	0,865	0,890
14	З	5,5	1	0,064	2,2	7,5	0,875	0,910
15	Т	11	1	0,050	2,4	7,5	0,840	0,890
16	З	0,09	2	0,086	2,2	5,0	0,550	0,600
17	Т	0,12	2	0,080	2,2	5,0	0,630	0,660
18	З	0,18	2	0,087	2,2	5,0	0,640	0,640
19	Т	0,25	2	0,080	2,2	5,0	0,680	0,650
20	З	0,37	2	0,090	2,2	5,0	0,680	0,690
21	Т	0,55	2	0,087	2,2	4,5	0,705	0,700
22	З	0,75	2	0,087	2,2	4,5	0,720	0,730
23	Т	1,1	2	0,067	2,2	5,0	0,750	0,810
24	З	1,5	2	0,067	2,2	5,0	0,770	0,830
25	Т	2,2	2	0,066	2,2	6,0	0,800	0,830

Продовження таблиці 4

№ ва-рі-анта	Схема з'єднання обмотки статора	Потужність, кВт	Число пар полюсів	Номинальне ковзання	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	ККД	Коефіцієнт потужності
		$P_{2ном}$	p	$S_{ном}$	λ_M	λ_I	$\eta_{ном}$	$\cos \varphi_{1ном}$
26	З	3	2	0,066	2,2	6,5	0,820	0,830
27	Т	4	2	0,065	2,2	6,0	0,840	0,840
28	З	5,5	2	0,065	2,2	7,0	0,855	0,860
29	Т	7,5	2	0,064	2,2	7,5	0,875	0,860
30	З	11	2	0,060	2,4	7,5	0,875	0,870
31	Т	0,6	2	0,087	2,2	4,5	0,680	0,730
32	З	0,8	2	0,085	2,2	4,5	0,685	0,750
33	Т	1,3	2	0,082	2,2	5,0	0,685	0,820
34	З	1,7	2	0,080	2,2	5,0	0,700	0,820
35	Т	2,4	2	0,078	2,2	6,0	0,760	0,820
36	З	3,2	2	0,075	2,2	6,0	0,765	0,820
37	Т	4,25	2	0,072	2,2	6,0	0,780	0,820
38	З	5,6	2	0,070	2,2	7,0	0,790	0,830
39	Т	8,5	2	0,069	2,2	7,0	0,820	0,850
40	З	11,8	2	0,061	2,4	7,0	0,840	0,850
41	Т	0,18	3	0,115	2,2	4,0	0,560	0,620
42	З	0,25	3	0,108	2,2	4,0	0,590	0,620
43	Т	0,37	3	0,080	2,2	4,0	0,645	0,690
44	З	0,55	3	0,080	2,2	4,0	0,675	0,710
45	Т	0,75	3	0,080	2,2	4,0	0,690	0,740
46	З	1,1	3	0,080	2,2	4,0	0,740	0,740
47	Т	1,5	3	0,064	2,2	5,5	0,750	0,740
48	З	2,2	3	0,063	2,2	5,5	0,810	0,730
49	Т	3	3	0,057	2,4	6,0	0,810	0,760
50	З	4	3	0,056	2,4	6,0	0,820	0,810

Продовження таблиці 4

№ ва-рі-анта	Схема з'єднання обмотки статора	Потужність, кВт	Число пар полюсів	Номинальне ковзання	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	ККД	Коефіцієнт потужності
		$P_{2ном}$	p	$S_{ном}$	λ_M	λ_I	$\eta_{ном}$	$\cos\varphi_{1ном}$
51	Т	5,5	3	0,049	2,5	7,0	0,850	0,800
52	З	7,5	3	0,048	2,5	7,0	0,855	0,810
53	Т	0,18	3	0,100	2,2	4,0	0,550	0,610
54	З	0,25	3	0,095	2,2	4,0	0,580	0,615
55	Т	0,37	3	0,090	2,2	4,0	0,640	0,680
56	З	0,55	3	0,086	2,2	4,0	0,670	0,700
57	Т	0,75	3	0,085	2,2	6,0	0,680	0,730
58	З	1,1	3	0,083	2,2	6,0	0,730	0,730
59	Т	1,5	3	0,080	2,2	6,5	0,740	0,735
60	З	2,2	3	0,075	2,2	6,5	0,800	0,740
61	Т	3	3	0,051	2,4	6,5	0,800	0,750
62	З	4	3	0,050	2,4	6,5	0,810	0,800
63	Т	0,4	3	0,104	2,1	3,5	0,625	0,700
64	З	0,63	3	0,102	2,1	3,5	0,650	0,700
65	Т	0,8	3	0,070	2,1	3,5	0,610	0,680
66	З	1,2	3	0,078	2,1	3,5	0,665	0,730
67	Т	0,25	4	0,110	1,7	3,5	0,560	0,650
68	З	0,37	4	0,115	1,7	3,5	0,615	0,650
69	Т	0,55	4	0,100	1,8	3,5	0,640	0,650
70	З	0,75	4	0,098	1,8	3,5	0,680	0,620
71	Т	1,1	4	0,075	2,0	3,5	0,700	0,680
72	З	1,5	4	0,074	2,0	5,5	0,740	0,650
73	Т	2,2	4	0,066	2,2	6,0	0,765	0,710
74	З	3	4	0,065	2,2	6,0	0,790	0,740
75	Т	4	4	0,055	2,4	6,0	0,830	0,700

Продовження таблиці 4

№ ва-рі-анта	Схема з'єднання обмотки статора	Потужність, кВт	Число пар полюсів	Номинальне ковзання	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	ККД	Коефіцієнт потужності
		$P_{2ном}$	p	$S_{ном}$	λ_M	λ_I	$\eta_{ном}$	$\cos\varphi_{1ном}$
76	З	5,5	4	0,054	2,4	6,0	0,830	0,740
77	Т	7,5	4	0,052	2,4	6,0	0,860	0,750
78	З	11	4	0,051	2,5	6,0	0,870	0,750
79	Т	0,3	4	0,100	2,0	3,5	0,535	0,610
80	З	0,45	4	0,084	2,0	3,5	0,580	0,610
81	Т	0,6	4	0,083	2,0	3,5	0,610	0,630
82	З	0,9	4	0,082	2,0	3,5	0,610	0,650
83	Т	1,2	4	0,080	2,0	3,5	0,650	0,640
84	З	1,6	4	0,078	2,0	3,5	0,690	0,630
85	Т	2,2	4	0,095	2,0	5,5	0,680	0,650
86	З	3,2	4	0,110	2,0	6,0	0,720	0,700
87	Т	4,5	4	0,082	2,0	6,0	0,760	0,700
88	З	6	4	0,075	2,0	6,0	0,770	0,700
89	Т	7,5	4	0,096	2,0	6,0	0,815	0,800
90	З	9	4	0,090	2,0	6,0	0,825	0,790
91	Т	10	4	0,078	2,0	6,0	0,835	0,830
92	З	11	4	0,084	2,0	6,0	0,835	0,850
93	Т	12,5	4	0,069	2,2	6,0	0,870	0,790
94	З	0,35	4	0,100	2,0	3,5	0,535	0,610
95	Т	0,55	4	0,075	2,0	3,5	0,580	0,610
96	З	0,7	4	0,084	2,0	3,5	0,620	0,630
97	Т	1,4	4	0,078	2,0	3,5	0,650	0,580
98	З	1,9	4	0,076	2,0	3,5	0,670	0,600
99	Т	4,2	4	0,075	2,0	5,5	0,745	0,620

4. БЛАНКИ ДЛЯ ВХІДНИХ ДАНИХ

Задача 1. Параметри однофазного трансформатора і його навантаження

№ ва- рі- ан- та	Повна потуж- ність, кВА	Номінальні на- пруги обмоток, В		Струм XX, %	Втрати потужно- сті, Вт		Напруга КЗ, %	Коефіцієнт поту- жності активно- індуктивного навантаження
		ВН	НН		XX	КЗ		
	$S_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{ВННОМ}}$	$U_{\text{НННОМ}}$	i_x	P_0	P_K	u_K	$\cos \varphi_H$

Задача 2. Параметри двигуна постійного струму з паралельним збудженням

№ ва- рі- анта	Потуж- ність, кВт	Напруга, В	Частота обертання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом	Опір обмотки збудження, Ом
	$P_{2\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$R_{\text{я}}$	R_z

Задача 3. Параметри двигуна постійного струму з послідовним збудженням

№ ва- рі- анта	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обер- тання, об/хв	ККД	Опір кола якоря, Ом
	$P_{2\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$R_{\text{я}}$

Задача 4. Параметри трифазного асинхронного двигуна

№ ва- рі- анта	Схема з'єднання обмотки статора	Поту- жність, кВт	Число пар по- люсів	Номінальне ковзання	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{НОМ}}}$	ККД	Коефіцієнт потужності
		$P_{2\text{НОМ}}$	p	$S_{\text{НОМ}}$	λ_M	m_I	$\eta_{\text{НОМ}}$	$\cos \varphi_{1\text{НОМ}}$

5. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

5.1. Параметри і характеристики однофазного трансформатора

Приклад 1. Однофазний трансформатор (рис.2) має такі номінальні дані: повна потужність $S_{\text{ном}} = 12$ кВА; напруга первинної обмотки $U_{1\text{ном}} = 220$ В, напруга вторинної обмотки $U_{2\text{ном}} = 133$ В. Напруга короткого замикання $u_k = 5\%$ від номінального значення $U_{1\text{ном}}$. Струм холостого ходу $i_x = 8\%$ від номінального струму $I_{1\text{ном}}$.

Визначити: коефіцієнт трансформації n ; номінальні струми первинної $I_{1\text{ном}}$ і вторинної $I_{2\text{ном}}$ обмоток; струми аварійного короткого замикання цих обмоток $I_{1\text{Акз}}$, $I_{2\text{Акз}}$; струм холостого ходу первинної обмотки I_{10} .

Розрахунок. Коефіцієнт трансформації $n = \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}} = \frac{220}{133} = 1,654$.

Номінальні струми обмоток

$$I_{1\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}} = \frac{12 \cdot 10^3}{220} = 54,5 \text{ А}; \quad I_{2\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}} = \frac{12 \cdot 10^3}{133} = 90,2 \text{ А}.$$

Напруга в режимі дослідного короткого замикання

$$U_{1к} = \frac{u_k \cdot U_{1\text{ном}}}{100} = \frac{5 \cdot 220}{100} = 11 \text{ В}.$$

Струми аварійного короткого замикання обмоток при номінальній напрузі

$$I_{1\text{Акз}} = I_{1\text{ном}} \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{1к}} = 54,5 \cdot \frac{220}{11} = 1090 \text{ А};$$

$$I_{2\text{Акз}} = I_{1\text{Акз}} \cdot n = 1090 \cdot 1,654 = 1803 \text{ А}.$$

Струм в режимі холостого ходу $I_{10} = \frac{i_x \cdot I_{1\text{ном}}}{100} = \frac{8 \cdot 54,5}{100} = 4,36 \text{ А}.$

Приклад 2. Однофазний трансформатор (рис.2) має такі номінальні дані: напруга первинної обмотки $U_{1\text{ном}} = 660$ В, напруга вторинної обмотки $U_{2\text{ном}} = 400$ В; струм первинної обмотки $I_{1\text{ном}} = 3,8$ А. В режимі дослідного КЗ втрати потужності складають $P_k = 80$ Вт, напруга $U_{1к} = 33$ В. Навантаження має активно-індуктивний характер при $\cos \varphi_H = 0,75$.

Розрахувати та побудувати зовнішню характеристику трансформатора.

Розрахунок. Зовнішньою характеристикою трансформатора вважають залежність напруги U_2 від коефіцієнта навантаження β , тобто $U_2(\beta)$, де $\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{ном}}}$; I_2 – струм вторинної обмотки трансформатора; $I_{2\text{ном}}$ – її номінальний струм.

З теорії трансформаторів відома наближена формула зовнішньої характеристики

$$U_2 = U_{20} \cdot \left[1 - \beta \cdot \frac{u_K}{100} \cdot \cos(\varphi_H - \varphi_K) \right],$$

де: U_{20} – напруга вторинної обмотки в режимі ХХ; u_K – напруга короткого замикання в % від номінального значення $U_{1\text{ном}}$, які визначаються виразами

$$U_{20} = U_{2\text{ном}} = 400 \text{ В}; \quad u_K = \frac{U_{1\text{к}}}{U_{1\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{33}{660} \cdot 100\% = 5\%.$$

Кут зсуву фаз між струмом і напругою на навантаженні

$$\varphi_H = \arccos(\cos \varphi_H) = \arccos(0,75) = 41,41^\circ.$$

Кут зсуву фаз між струмом і напругою при дослідному КЗ

$$\varphi_K = \arccos\left(\frac{P_K}{U_{1\text{к}} \cdot I_{1\text{ном}}}\right) = \arccos\left(\frac{80}{33 \cdot 3,8}\right) = 50,36^\circ.$$

$$\text{Тоді } U_2 = 400 \cdot \left[1 - \beta \cdot \frac{5}{100} \cdot \cos(41,41^\circ - 50,36^\circ) \right] = 400 \cdot (1 - 0,0494\beta).$$

Зовнішня характеристика (рис.8) являє собою пряму лінію, яка проводиться через дві точки: A (координати $\beta = 0$; $U_2 = 400 \text{ В}$), B (координати $\beta = 1$; $U_2 = 380 \text{ В}$).

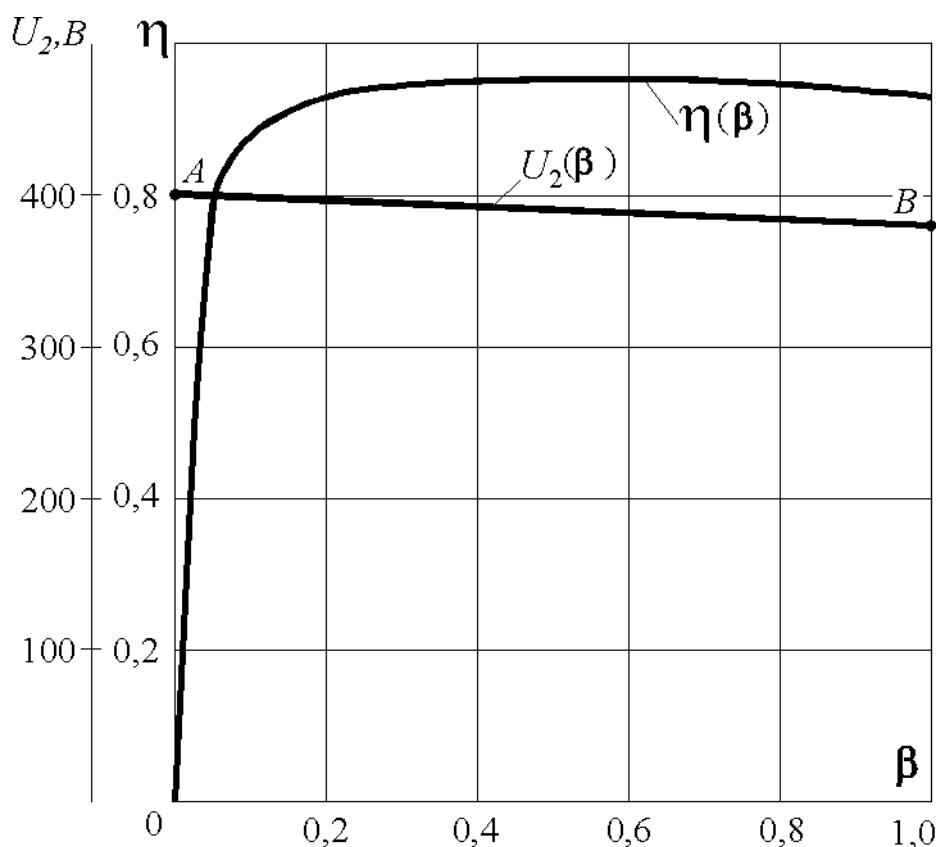


Рисунок 8

Приклад 3. Однофазний трансформатор (рис.2) має такі дані: повна номінальна потужність $S_{\text{ном}} = 6 \text{ кВА}$; втрати потужності в режимі ХХ $P_0 = 60 \text{ Вт}$; втрати потужності в режимі дослідного КЗ $P_K = 200 \text{ Вт}$. Навантаження має активно-індуктивний характер при $\cos \varphi_H = 0,75$. Розрахувати та побудувати графік ККД трансформатора $\eta(\beta)$, де $\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{ном}}}$ – коефіцієнт навантаження.

Розрахунок. З теорії трансформаторів відома наближена формула розрахунку залежності $\eta(\beta)$:

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_H}{\beta \cdot S_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_H + P_0 + \beta^2 \cdot P_K}.$$

Підставляючи в цю формулу задані величини, визначаємо для даного трансформатора

$$\eta = \frac{\beta \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,75}{\beta \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,75 + 60 + \beta^2 \cdot 200} = \frac{4500 \cdot \beta}{4500 \cdot \beta + 60 + \beta^2 \cdot 200}.$$

Беремо ряд конкретних значень β від ХХ ($\beta=0$) до номінального навантаження ($\beta=1$) і визначаємо чисельно залежність $\eta(\beta)$, яка наведена в табл.5.

Розрахована крива залежності $\eta(\beta)$ побудована на рис.8.

Таблиця 5 – Дані розрахунку кривої ККД

β	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
η	0	0,788	0,879	0,93	0,945	0,951	0,953	0,953	0,952	0,95	0,948	0,945

5.2. Параметри і характеристики двигуна постійного струму з паралельним збудженням

Приклад 4. Двигун постійного струму з паралельним збудженням (рис.3) має такі дані в номінальному режимі: потужність $P_{2\text{ном}} = 90 \text{ кВт}$; напруга $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$; частота обертання $n_{\text{ном}} = 1060 \text{ об/хв}$; ККД $\eta_{\text{ном}} = 0,892$. Опір якірного кола складає $R_{\text{я}} = 0,03 \text{ Ом}$; опір обмотки збудження – $R_z = 25,6 \text{ Ом}$.

Визначити для номінального режиму потужність $P_{1\text{ном}}$ і струм $I_{\text{ном}}$, які двигун споживає з мережі; струм обмотки збудження $I_{z\text{ ном}}$ і струм якоря $I_{\text{я ном}}$; сумарні втрати потужності в двигуні $\Delta P_{\text{ном}}$; ЕРС якоря $E_{\text{ном}}$; електромагнітну потужність $P_{\text{ем ном}}$; обертаючі електромагнітний $M_{\text{ном}}$ і корисний $M_{2\text{ном}}$ моменти.

Указівка: при розрахунку реакцією якоря знехтувати.

Розрахунок. Для номінального режиму:

Потужність і струм, які двигун споживає з мережі

$$P_{1\text{ном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} = \frac{90}{0,892} = 100,9 \text{ кВт}; \quad I_{\text{ном}} = \frac{P_{1\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{100,9 \cdot 10^3}{220} = 458,6 \text{ А.}$$

Струм обмотки збудження і струм якоря

$$I_{3\text{ ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{R_3} = \frac{220}{25,6} = 8,6 \text{ А}; \quad I_{\text{я ном}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{в ном}} = 458,6 - 8,6 = 450 \text{ А.}$$

Сумарні втрати потужності в двигуні

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{1\text{ном}} - P_{2\text{ном}} = 100,9 - 90 = 10,9 \text{ кВт.}$$

ЕРС якоря

$$E_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{я ном}} \cdot R_{\text{я}} = 220 - 450 \cdot 0,03 = 206,5 \text{ В.}$$

Електромагнітна потужність

$$P_{\text{ЕМ ном}} = E_{\text{ном}} \cdot I_{\text{я ном}} = 206,5 \cdot 450 = 92925 \text{ Вт.}$$

Обертаючі електромагнітний і корисний моменти

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{ЕМ ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \cdot \frac{92925}{1060} = 837,2 \text{ Н·м};$$

$$M_{2\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{2\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \cdot \frac{90 \cdot 10^3}{1060} = 810,8 \text{ Н·м.}$$

Приклад 5. Двигун постійного струму з паралельним збудженням (рис.3) має такі дані в номінальному режимі: напруга $U_{\text{ном}} = 440 \text{ В}$; струм якоря $I_{\text{я ном}} = 200 \text{ А}$. Опір якоря складає $R_{\text{я}} = 0,15 \text{ Ом}$.

Визначити опір регулювального реостата $R_{\text{р}}$, який треба увімкнути в коло якоря для обмеження пускового струму якоря до $I_{\text{я пуск}} = 2,2 I_{\text{я ном}}$, якщо двигун вмикається при пуску на номінальну напругу $U_{\text{ном}}$, а також знайти значення напруги живлення $U_{\text{пуск}}$, до якого треба її знизити, щоб пусковий струм якоря $I_{\text{я пуск}}$ не перевищував би значення $I_{\text{я пуск}} = 2,5 I_{\text{я ном}}$ при відсутності регулювального реостата.

Розрахунок. Опір регулювального реостата при $U_{\text{ном}}$ визначається з формули для струму якоря $I_{\text{я}} = \frac{U_{\text{ном}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{р}}} = 2,2 I_{\text{я ном}}$.

Після перетворення

$$R_{\text{р}} = \frac{U_{\text{ном}}}{2,2 I_{\text{я ном}}} - R_{\text{я}} = \frac{440}{2,2 \cdot 200} - 0,15 = 0,85 \text{ Ом.}$$

Напруга живлення $U_{\text{пуск}}$ при $R_{\text{р}} = 0$ для $I_{\text{я пуск}} = 2,5 I_{\text{я ном}}$ визначається з формули для струму якоря $U_{\text{пуск}} = 2,5 \cdot I_{\text{я ном}} \cdot R_{\text{я}} = 2,5 \cdot 200 \cdot 0,15 = 75 \text{ В}$.

Приклад 6. Двигун постійного струму з паралельним збудженням (рис.3) має такі номінальні дані: напруга $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$; струми якоря і збудження: $I_{\text{я ном}} = 130 \text{ А}$, $I_{\text{з ном}} = 5 \text{ А}$; частота обертання $n_{\text{ном}} = 1000 \text{ об/хв}$. Опір якоря складає $R_{\text{я}} = 0,1 \text{ Ом}$.

Побудувати механічні характеристики $n(M)$ при номінальній напрузі $U_{\text{ном}}$: а) природну; б) штучну - при умові, що в коло якоря увімкнено регулювальний реостат з опором $R_{\text{р}} = 0,2 \text{ Ом}$.

Аналітично або, користуючись природною механічною характеристикою, визначити частоту обертання якоря при $M = 0,5 \cdot M_{\text{ном}}$.

Розрахунок. Відомо, що електрорушійна сила (ЕРС) двигуна E і електромагнітний момент M визначаються формулами:

$$E = C_E \cdot \Phi \cdot n; \quad (1) \quad M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}, \quad (2)$$

де C_E, C_M – електрична і механічна сталі двигуна; Φ – магнітний потік; $I_{\text{я}}$ – струм якоря.

В номінальному режимі:

$$E_{\text{ном}} = C_E \cdot \Phi_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ном}}, \quad (3) \quad M_{\text{ном}} = C_M \cdot \Phi_{\text{ном}} \cdot I_{\text{я ном}}. \quad (4)$$

З формул (1-4) маємо

$$\frac{E}{E_{\text{ном}}} = \frac{\Phi \cdot n}{\Phi_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ном}}}, \quad (5) \quad \frac{M}{M_{\text{ном}}} = \frac{\Phi \cdot I_{\text{я}}}{\Phi_{\text{ном}} \cdot I_{\text{я ном}}}. \quad (6)$$

Якщо напруга живлення є незмінною, то в двигуні з паралельним збудженням магнітний потік Φ майже не змінюється навіть при зміні його навантаження. Тому, враховуючи, що $\Phi = \Phi_{\text{ном}}$, маємо з формул (5) і (6)

$$n = n_{\text{ном}} \cdot \frac{E}{E_{\text{ном}}}, \quad (7) \quad I_{\text{я}} = I_{\text{я ном}} \cdot \frac{M}{M_{\text{ном}}}. \quad (8)$$

Відомо також, що ЕРС визначається ще формулою

$$E = U - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}. \quad (9)$$

Значення струму з формули (8) підставляємо в формулу (9) і отримуємо

$$E = U - I_{\text{я ном}} \cdot R_{\text{я}} \cdot \frac{M}{M_{\text{ном}}}. \quad (10)$$

Підставляючи в формулу (7) значення E , з формули (10) маємо базову формулу для розрахунку механічних характеристик

$$n = n_{\text{ном}} \cdot \frac{U}{E_{\text{ном}}} - \frac{I_{\text{я ном}} \cdot n_{\text{ном}}}{E_{\text{ном}} \cdot M_{\text{ном}}} \cdot M \cdot R_{\text{я}}. \quad (11)$$

Для даного двигуна визначаються:

номінальна електрорушійна сила

$$E_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{я ном}} \cdot R_{\text{я}} = 220 - 130 \cdot 0,1 = 207 \text{ В};$$

номінальна електромагнітна потужність

$$P_{\text{ЕМНОМ}} = E_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{ЯНОМ}} = 207 \cdot 130 = 26910 \text{ Вт};$$

номінальний електромагнітний момент

$$M_{\text{НОМ}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{ЕМНОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = 9,55 \cdot \frac{26910}{1000} = 257 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Природна механічна характеристика $n(M)$ при $U = U_{\text{НОМ}}$ визначається за базовою формулою (11) таким чином

$$n = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{E_{\text{НОМ}}} - \frac{I_{\text{ЯНОМ}} \cdot n_{\text{НОМ}}}{E_{\text{НОМ}} \cdot M_{\text{НОМ}}} \cdot M \cdot R_{\text{я}} = n_0 - C \cdot M \cdot R_{\text{я}}, \quad (12)$$

де частота обертання якоря при холостому ході ($M=0$)

$$n_0 = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{E_{\text{НОМ}}} = 1000 \cdot \frac{220}{207} = 1063 \text{ об/хв};$$

стала двигуна

$$C = \frac{I_{\text{ЯНОМ}} \cdot n_{\text{НОМ}}}{E_{\text{НОМ}} \cdot M_{\text{НОМ}}} = \frac{130 \cdot 1000}{207 \cdot 257} = 2,444 \frac{\text{об}}{\text{хв} \cdot \text{Ом} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}}.$$

Природна механічна характеристика є прямою лінією (рис.9), яку можна побудувати за двома точками: точці A з координатами ($M=0$, $n = n_0 = 1063 \text{ об/хв}$) і точці B з координатами ($M = M_{\text{НОМ}} = 257 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $n = n_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ об/хв}$).

Штучна механічна характеристика $n(M)$ при вмиканні регулювального реостата з опором $R_p = 0,2 \text{ Ом}$ і при збереженні $U = U_{\text{НОМ}}$ визначається за базовою формулою (11) таким чином

$$n = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{E_{\text{НОМ}}} - \frac{I_{\text{ЯНОМ}} \cdot n_{\text{НОМ}}}{E_{\text{НОМ}} \cdot M_{\text{НОМ}}} \cdot M \cdot (R_{\text{я}} + R_p) = n_0 - C \cdot M \cdot (R_{\text{я}} + R_p),$$

$$n = n_0 - C \cdot M \cdot (R_{\text{я}} + R_p) = 1063 - 2,444 \cdot 257 \cdot (0,1 + 0,2) = 875 \text{ об/хв}.$$

Частота обертання n' при $U_{\text{НОМ}}$ і $M = 0,5 \cdot M_{\text{НОМ}}$ і при відсутності регулювального реостата визначається за формулою (12):

$$n' = n_0 - C \cdot 0,5 M_{\text{НОМ}} \cdot R_{\text{я}} = 1063 - 2,444 \cdot 0,5 \cdot 257 \cdot 0,1 = 1031,5 \text{ об/хв}.$$

Такий же результат отримуємо графічно з природної механічної характеристики для $M = 0,5 \cdot M_{\text{ном}}$ (рис.9, точка D).

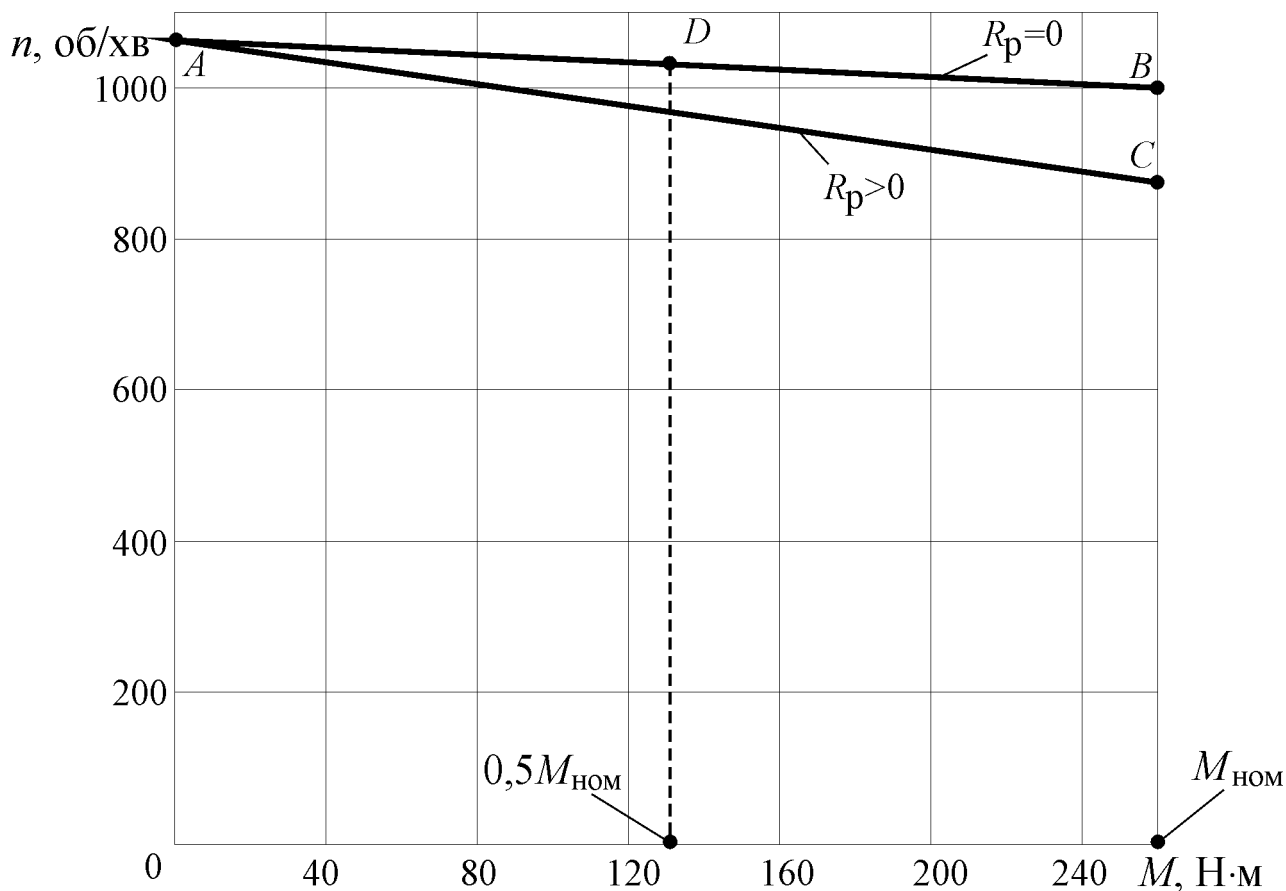


Рисунок 9

5.3. Параметри і характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням

Приклад 7. Двигун постійного струму з послідовним збудженням (рис.4) має такі номінальні дані: потужність $P_{2\text{ном}} = 12$ кВт; напруга $U_{\text{ном}} = 220$ В; частота обертання $n_{\text{ном}} = 600$ об/хв; ККД $\eta_{\text{ном}} = 0,83$. Опір якірного кола з урахуванням обмотки збудження складає $R_{\text{я}} = 0,2$ Ом.

Визначити для номінального режиму: потужність $P_{1\text{ном}}$ і струм $I_{\text{ном}}$, які двигун споживає з мережі; сумарні втрати потужності в двигуні $\Delta P_{\text{ном}}$; ЕРС якоря $E_{\text{ном}}$; електромагнітну потужність $P_{\text{ем ном}}$; обертаючі електромагнітний $M_{\text{ном}}$ і корисний $M_{2\text{ном}}$ моменти.

Розрахунок. Для номінального режиму роботи:

потужність і струм, які двигун споживає з мережі

$$P_{1\text{НОМ}} = \frac{P_{2\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} = \frac{12}{0,83} = 14,46 \text{ кВт}; \quad I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{1\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{14,46 \cdot 10^3}{220} = 65,7 \text{ А};$$

струм якоря $I_{\text{яНОМ}} = I_{\text{НОМ}} = 65,7 \text{ А};$

сумарні втрати потужності в двигуні

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{1\text{НОМ}} - P_{2\text{НОМ}} = 14,46 - 12 = 2,46 \text{ кВт};$$

ЕРС якоря

$$E_{\text{НОМ}} = U_{\text{НОМ}} - I_{\text{яНОМ}} \cdot R_{\text{я}} = 220 - 65,7 \cdot 0,2 = 206,86 \text{ В};$$

електромагнітна потужність

$$P_{\text{ЕМНОМ}} = E_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{яНОМ}} = 206,86 \cdot 65,7 = 13591 \text{ Вт};$$

обертаючі електромагнітний і корисний моменти

$$M_{\text{НОМ}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{ЕМНОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = 9,55 \cdot \frac{13591}{600} = 216,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2\text{НОМ}} = 9,55 \cdot \frac{P_{2\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = 9,55 \cdot \frac{12 \cdot 10^3}{600} = 191 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приклад 8. Двигун постійного струму з послідовним збудженням (рис.4) має такі номінальні дані: напруга $U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ В};$ струм $I_{\text{НОМ}} = 100 \text{ А};$ частота обертання $n_{\text{НОМ}} = 750 \text{ об/хв.}$ Опір якірного кола з урахуванням обмотки збудження складає $R_{\text{я}} = 0,2 \text{ Ом.}$ Характеристику намагнічування ДПС $\Phi(I)$ – залежність магнітного потоку Φ від струму I у відносних одиницях $k_{\Phi}(k_I)$ зображено на рис.5.

Побудувати при $U_{\text{НОМ}}:$ а) природну та б) штучну механічні характеристики $n(M)$. Штучну механічну характеристику побудувати при вмиканні в коло якоря регулювального реостата з опором $R_{\text{р}} = 0,2 \text{ Ом.}$

Використовуючи побудовані природну та штучну механічні характеристики $n(M)$, визначити частоти обертання двигуна при зниженні обертаючого моменту на 50 % , а також при збільшенні його на 20 % від номінального значення при увімкнутому регулювальному реостаті з опором $R_{\text{р}}$ та при його відсутності.

Визначити частоту обертання якоря при номінальному обертаючому моменті $M_{\text{НОМ}}$, але зі зниженням напруги живлення двигуна на 20 % від номінального значення $U_{\text{НОМ}}$ при $R_{\text{р}}=0$.

Розрахунок.

Для побудови механічних характеристик $n(M)$ ДПС з послідовним збудженням не можна безпосередньо скористатися формулою (11), яка була отримана для ДПС з паралельним збудженням (див.приклад 6). Справа у тому, що

тепер у ДПС з послідовним збудженням магнітний потік збудження Φ залежить від струму якоря $I_{\text{я}}$, що подано на рис.5 у відносних одиницях k_{Φ} (k_I), і змінюється разом з ним ($I_{\text{я}} = I = I_3$, де I, I_3 – відповідно, струм, споживаний двигуном з мережі, та струм обмотки збудження).

Тому зроблено наступне перетворення формул (1,2,9) з прикладу 6.

З формули ЕРС $E = C_E \cdot n \cdot \Phi$ маємо $n = \frac{E}{C_E \cdot \Phi}$.

Підставимо у останнє $E = U - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}$, і одержимо

$$n = \frac{U - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi}. \quad (1)$$

З використанням відносних значень k_I і k_{Φ} виражаємо струм якоря і магнітний потік:

$$I_{\text{я}} = k_I \cdot I_{\text{яном}}; \quad \Phi = k_{\Phi} \cdot \Phi_{\text{ном}}. \quad (2)$$

Підставимо це у формулу (1) і тоді

$$n = \frac{U - k_I \cdot I_{\text{яном}} \cdot R_{\text{я}}}{C_E \cdot k_{\Phi} \cdot \Phi_{\text{ном}}} \quad (3)$$

У номінальному режимі ЕРС якоря

$$E_{\text{ном}} = C_E \cdot n_{\text{ном}} \cdot \Phi_{\text{ном}},$$

відкіля $\Phi_{\text{ном}} = \frac{E_{\text{ном}}}{C_E \cdot n_{\text{ном}}}$, з урахуванням чого з (3) отримаємо формулу для розрахунків частоти обертання якоря

$$n = n_{\text{ном}} \frac{U - k_I \cdot I_{\text{яном}} \cdot R_{\text{я}}}{k_{\Phi} \cdot E_{\text{ном}}}. \quad (4)$$

Крім того, на основі формули обертаючого моменту $M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}$ з урахуванням (2) маємо $M = C_M \cdot k_{\Phi} \cdot k_I \cdot \Phi_{\text{ном}} \cdot I_{\text{яном}}$, і, через те, що $M_{\text{ном}} = C_M \cdot \Phi_{\text{ном}} \cdot I_{\text{яном}}$, отримаємо формулу для розрахунку обертаючого електромагнітного моменту

$$M = k_I \cdot k_{\Phi} \cdot M_{\text{ном}}. \quad (5)$$

Для побудови механічних характеристик знайдемо такі дані:
номінальна ЕРС

$$E_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{яном}} \cdot R_{\text{я}} = 110 - 100 \cdot 0,2 = 90 \text{ В};$$

номінальна електромагнітна потужність

$$P_{\text{ЕМном}} = E_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ном}} = 90 \cdot 100 = 9000 \text{ Вт};$$

номінальний обертаючий електромагнітний момент

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{ЕМном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \cdot \frac{9000}{750} = 114,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для побудови природної механічної характеристики $n(M)$ скористаємось формулою (4), яка при номінальній напрузі $U=U_{\text{НОМ}}$ має вигляд

$$n = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}} - k_I \cdot I_{\text{Я НОМ}} \cdot R_{\text{Я}}}{k_{\Phi} \cdot E_{\text{НОМ}}}, \quad (6)$$

а також формулою (5) і ще кривою намагнічування $k_{\Phi}(k_I)$ у відносних одиницях, що зображена на рис.5.

Задаючись значеннями k_I , визначаємо k_{Φ} за рис.5, а величини M та n за формулами (5) і (6). Дані усіх розрахунків зводимо до табл.6. За результатами розрахунку на рис.10 зображена природна механічна характеристика (крива 1).

Таблиця 6 – Дані розрахунку механічних характеристик

k_I	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
k_{Φ}	0,65	0,8	0,91	1,0	1,08
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	29,8	55,0	83,4	114,6	148,5
$n, \text{об/хв при}$ $R_p = 0$	1308	1021	861	750	664
$n, \text{об/хв при}$ $R_p = 0,2 \text{ Ом}$	1205	896	714	583	478

Для побудови штучної механічної характеристики $n(M)$ знов при $U_{\text{НОМ}}$, але з додатковим опором у колі якоря $R_p = 0,2 \text{ Ом}$ з формули (6) отримуємо модифіковану формулу

$$n = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}} - k_I \cdot I_{\text{Я НОМ}} \cdot (R_{\text{Я}} + R_p)}{k_{\Phi} \cdot E_{\text{НОМ}}}. \quad (7)$$

Решта залишається, як і у попередньому випадку, тобто скористаємось формулою (5) і кривою намагнічування $k_{\Phi}(k_I)$.

Задаючись значеннями k_I визначаємо k_{Φ} за рис.5, а величини n та M за формулами (5) і (7). Усі розрахунки зводимо до табл.6. За результатами розрахунку на рис.10 зображена штучна механічна характеристика (крива 2).

Користуючись природною механічною характеристикою, визначаємо частоти обертання якоря:

$$n_A = 1000 \text{ об/хв при } M = 0,5 \cdot M_{\text{НОМ}} = 57,3 \text{ Н} \cdot \text{м (точка A)},$$

$$n_B = 685 \text{ об/хв при } M = 1,2 \cdot M_{\text{НОМ}} = 137,5 \text{ Н} \cdot \text{м (точка B)}.$$

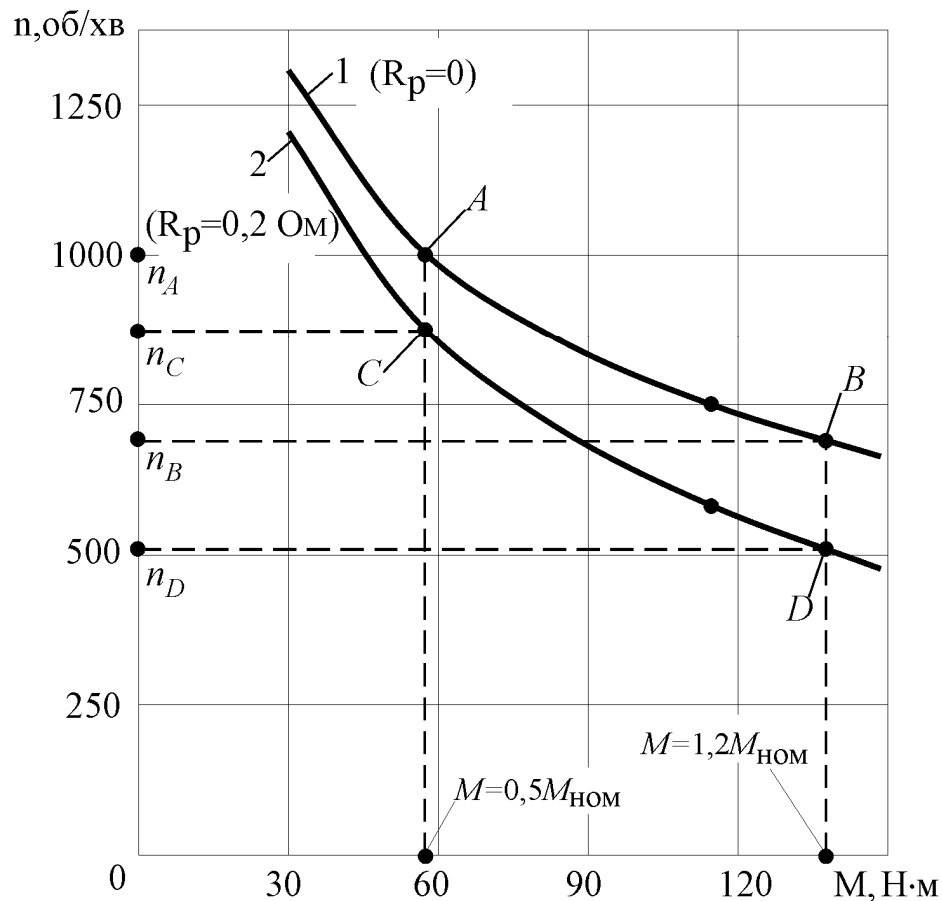


Рисунок 10

Користуючись штучною механічною характеристикою визначаємо частоту обертання якоря:

$$n_C = 875 \text{ об/хв при } M = 0,5 \cdot M_{\text{НОМ}} = 57,3 \text{ Н} \cdot \text{м (точка C),}$$

$$n_D = 510 \text{ об/хв при } M = 1,2 \cdot M_{\text{НОМ}} = 137,5 \text{ Н} \cdot \text{м (точка D).}$$

При зниженні напруги живлення на 20 %, порівняно з його номінальним значенням, частота обертання якоря при $M_{\text{НОМ}}$ і $R_p=0$ визначається таким чином.

Щоб за формулою (5) отримати $M = M_{\text{НОМ}}$ необхідно взяти $k_I = 1$; $k_{\Phi} = 1$. Тоді, користуючись формулою (4), з урахуванням того, що у даному випадку $U = 0,8 \cdot U_{\text{НОМ}}$, маємо

$$n = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{0,8 \cdot U_{\text{НОМ}} - I_{\text{яНОМ}} \cdot R_{\text{я}}}{E_{\text{НОМ}}} = 750 \cdot \frac{0,8 \cdot 110 - 100 \cdot 0,2}{90} = 567 \text{ об/хв}.$$

5.4. Параметри і характеристики трифазного асинхронного двигуна

Приклад 9. Трифазний асинхронний двигун має такі дані: номінальна напруга 220/380 В (фазна/лінійна) при частоті $f_1 = 50 \text{ Гц}$; номінальне ковзання $S_{\text{НОМ}} = 0,05$; число пар полюсів $p=6$; перевантажна здатність з обертаючого мо-

менту $\lambda_M = 1,8$. Схема з'єднання обмоток статора – зірка (рис.6,а). Вибрати лінійну напругу живильної мережі U_c і визначити синхронну частоту обертання поля статора, номінальну $n_{2\text{ном}}$ і критичну $n_{2\text{кр}}$ частоти обертання ротора.

Розрахунок. При з'єднанні обмоток статора зіркою $U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}$, де $U_{\text{л}}$ і $U_{\text{ф}}$ – відповідно лінійна та фазна напруги обмотки статора. Тому лінійна напруга мережі $U_c = U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$.

Синхронна частота обертання поля статора

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{6} = 500 \text{ об/хв.}$$

Номінальна частота обертання ротора

$$n_{2\text{ном}} = n_1(1 - S_{\text{ном}}) = 500(1 - 0,05) = 475 \text{ об/хв.}$$

Щоб визначити критичну частоту обертання ротора

$$n_{2\text{кр}} = n_1(1 - S_{\text{кр}}),$$

необхідно знати критичне ковзання двигуна $S_{\text{кр}}$. Це таке значення ковзання S , при якому обертаючий момент M досягає максимального значення M_{max} .

Для визначення $S_{\text{кр}}$ використовуємо відому формулу Клосса

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{max}}}{S/S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}}/S}$$

і номінальний режим роботи двигуна, при якому номінальному значенню ковзання відповідає номінальне значення обертаючого моменту

$$M_{\text{ном}} = \frac{2 \cdot M_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}/S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}}/S_{\text{ном}}}.$$

Зважаючи на те, що перевантажна здатність з обертаючого моменту $\lambda_M = M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$, з попередньої формули маємо

$$\frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{ном}}} + \frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{кр}}} = 2\lambda_M,$$

звідки отримуємо квадратне рівняння

$$S_{\text{кр}}^2 - 2\lambda_M S_{\text{ном}} S_{\text{кр}} + S_{\text{ном}}^2 = 0,$$

розв'язання якого дає вираз та значення критичного ковзання

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}}(\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}) = 0,05(1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1}) = 0,165.$$

Таким чином, критична частота обертання ротора

$$n_{2\text{кр}} = n_1(1 - S_{\text{кр}}) = 500(1 - 0,165) = 417,5 \text{ об/хв.}$$

Приклад 10. Трифазний асинхронний двигун має такі дані у номінальному режимі: потужність на валу $P_{2\text{ном}} = 22 \text{ кВт}$; напруга 220/380 В (фаз-

на/лінійна); ККД $\eta_{\text{ном}} = 0,9$; коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{1\text{ном}} = 0,88$. Кратність пускового струму $\lambda_I = 5,5$. Схема з'єднання обмоток статора – трикутник (рис.6,б). Вибрати лінійну напругу живильної мережі U_c і визначити номінальні та пускові струми обмотки статора.

Розрахунок. При з'єднанні обмотки статора трикутником $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$, тому лінійна напруга мережі $U_c = U_{\text{л}} = U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$.

Зважаючи на те, що потужність, яка споживається двигуном з мережі, має вираз, з одного боку, $P_{1\text{ном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}$, а з іншого - $P_{1\text{ном}} = \sqrt{3} U_c I_{\text{лном}} \cos\varphi_{1\text{ном}}$, отримуємо номінальні лінійний та фазний струми обмотки статора двигуна

$$I_{\text{лном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_c \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{1\text{ном}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,88} = 72,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{фном}} = \frac{I_{\text{лном}}}{\sqrt{3}} = \frac{72,9}{\sqrt{3}} = 41,7 \text{ А}.$$

Пускові лінійний та фазний струми обмотки статора двигуна

$$I_{\text{лпуск}} = \lambda_I \cdot I_{\text{лном}} = 5,5 \cdot 72,9 = 401 \text{ А};$$

$$I_{\text{фпуск}} = \lambda_I \cdot I_{\text{фном}} = 5,5 \cdot 41,7 = 229 \text{ А}.$$

Приклад 11. Трифазний асинхронний двигун вмикається в мережу з лінійною напругою $U_c = 380 \text{ В}$ і має такі дані у номінальному режимі: потужність на валу $P_{2\text{ном}} = 45 \text{ кВт}$; напруга 220/380 (фазна/лінійна); частота обертання ротора $n_{2\text{ном}} = 580 \text{ об/хв.}$; ККД $\eta_{\text{ном}} = 0,9$; коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{1\text{ном}} = 0,81$. Крім того, двигун має кратність пускового струму $\lambda_I = 5,0$; його перевантажна здатність з обертаючого моменту $\lambda_M = 1,8$. Визначити номінальну потужність $P_{1\text{ном}}$, споживану двигуном із мережі; суму всіх втрат потужності у двигуні $\Delta P_{\text{ном}}$; номінальний і пусковий струми обмотки статора двигуна; номінальний $M_{\text{ном}}$ і максимальний M_{max} обертаючі моменти.

Розрахунок. Номінальна потужність, споживана двигуном із мережі

$$P_{1\text{ном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} = \frac{45}{0,9} = 50 \text{ кВт}.$$

Сума всіх втрат у двигуні

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{1\text{ном}} - P_{2\text{ном}} = 50 - 45 = 5 \text{ кВт}.$$

При заданій напрузі мережі $U_c = 380 \text{ В}$ фази обмотки статора з'єднуються зіркою (рис.6,а). При цьому лінійний і фазний струми однакові:

$$I_{\text{л ном}} = I_{\text{ф ном}} = \frac{P_{2\text{ ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{1\text{ ном}}} = \frac{45 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,81} = 93,8 \text{ А.}$$

Пускові струми: $I_{\text{л пуск}} = I_{\text{ф пуск}} = \lambda_I \cdot I_{\text{л ном}} = 5,0 \cdot 93,8 = 469 \text{ А.}$

Номінальний і максимальний обертаючі моменти

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{2\text{ ном}}}{n_{2\text{ ном}}} = 9,55 \cdot \frac{45 \cdot 10^3}{580} = 741 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{max}} = \lambda_M \cdot M_{\text{ном}} = 1,8 \cdot 741 = 1334 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приклад 12. Трифазний асинхронний двигун має такі дані у номінальному режимі: потужність на валу $P_{2\text{ ном}} = 15 \text{ кВт}$; частота обертання поля статора $n_1 = 1500 \text{ об/хв.}$; ковзання $S_{\text{ном}} = 0,05$. Перевантажна здатність з обертаючого моменту $\lambda_M = 2,5$. Розрахувати і побудувати залежність обертаючого моменту від ковзання $M(S)$ і визначити пусковий обертаючий момент $M_{\text{пуск}}$ і його кратність $k_{\text{пуск}}$ відносно номінального моменту.

Розрахунок. Для практичних розрахунків залежність $M(S)$ при $U_{\text{с}} = \text{const}$ визначається формулою Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{max}}}{S/S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}}/S} = \frac{2 \cdot 250}{S/0,24 + 0,24/S} = \frac{500}{S/0,24 + 0,24/S} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичне ковзання

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}} (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}) = 0,05 (2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,24.$$

Номінальна частота обертання двигуна

$$n_{2\text{ ном}} = n_1 (1 - S_{\text{ном}}) = 1500 (1 - 0,05) = 1425 \text{ об/хв.}$$

Номінальний і максимальний обертаючі моменти

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{2\text{ ном}}}{n_{2\text{ ном}}} = 9,55 \cdot \frac{15 \cdot 10^3}{1425} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{max}} = \lambda_M \cdot M_{\text{ном}} = 2,5 \cdot 100 = 250 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тепер, задаючись значеннями S від 0 до 1, необхідно визначити значення обертаючого моменту за формулою Клосса. При цьому зауважимо, що на частині залежності $M(S)$, яка відповідає стійким режимам роботи двигуна ($0 \leq S \leq S_{\text{кр}}$), достатньо мати чотири точки при

$$S = 0; \quad S = S_{\text{ном}}; \quad S_{\text{ном}} \leq S \leq S_{\text{кр}}; \quad S = S_{\text{кр}}.$$

На ділянці залежності $M(S)$ з нестійкими режимами роботи двигуна ($S_{\text{кр}} < S \leq 1$) можна задатися такими значеннями ковзання S : 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1.

Результати розрахунку зведено до табл.7.

Пусковий момент двигуна визначається при $S=1$ і дорівнює $M_{\text{пуск}} = 113 \text{ Н} \cdot \text{м}$, тоді кратність цього моменту

$$k_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{113}{100} = 1,13.$$

Таблиця 7 – Дані розрахунку залежності $M(S)$

S	0	$S_{\text{ном}} = 0,05$	0,1	$S_{\text{кр}} = 0,24$	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	0	100	178	250	244	221	172	137	113

За даними табл.7 на рис.11 зображено залежність $M(S)$.

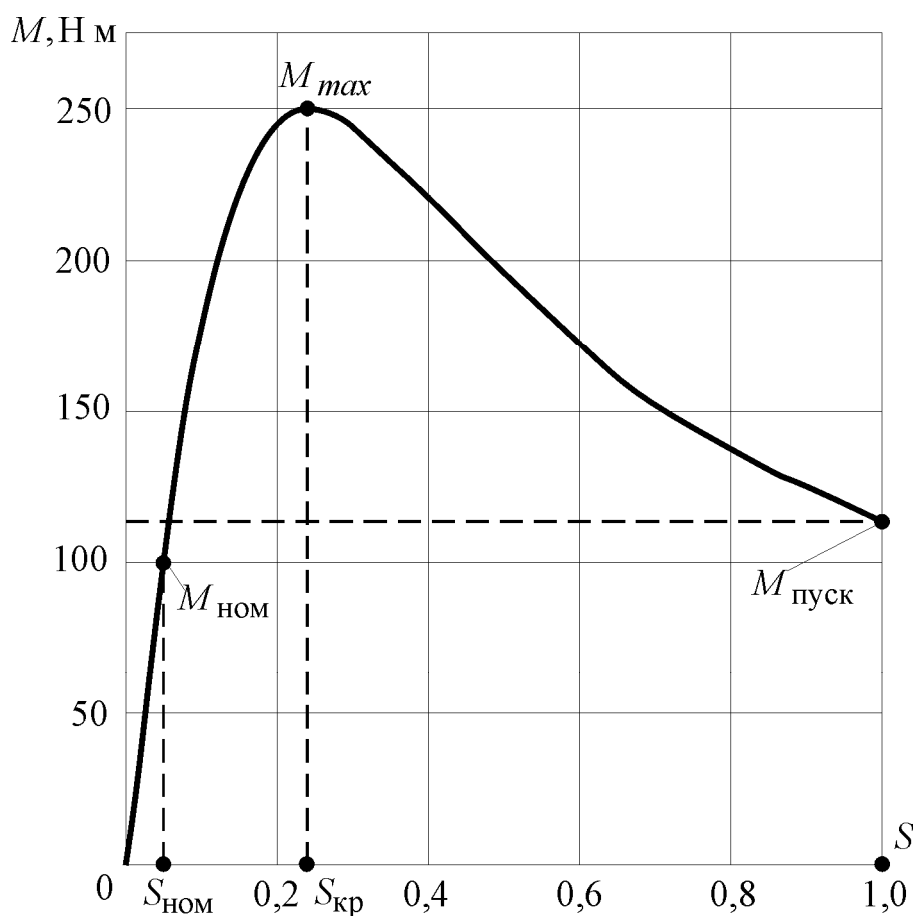


Рисунок 11

Приклад 13. Трифазний асинхронний двигун має такі дані у номінальному режимі: потужність на валу $P_{2\text{ном}} = 11 \text{ кВт}$; частота обертання поля статора $n_1 = 1000 \text{ об/хв.}$; ковзання $S_{\text{ном}} = 0,06$. Перевантажна здатність з обертаючого моменту $\lambda_M = 2,5$. Розрахувати і побудувати в одній координатній системі три механічних характеристики – залежності частоти обертання ротора від обертаючого моменту $n_2(M)$ за такими умовами:

а) природну механічну характеристику при напрузі мережі $U_c = 380$ В, а також визначити з неї діапазон частот обертання ротора, при яких можлива стійка робота двигуна;

б) штучну механічну характеристику при зниженій напрузі живильної мережі на 10 %, тобто при $U = 0,9U_c$;

в) штучну механічну характеристику за умовою, що сумарний активний опір у кожній фазі обмотки ротора став у двічі більшим, ніж у двигуна, для якого розраховані попередні характеристики, тобто $R'_2 = 2R_2$ (це можливо, якщо б даний двигун був двигуном з фазним ротором (рис.7) і тоді у фазі обмотки ротора можна було б увімкнути регульовальні реостати з опорами R_p , що дорівнюють R_2), при цьому індуктивний опір фаз обмотки ротора X_{20} не змінюється; напругу мережі вважати рівною U_c .

Розрахунок. Номінальна частота обертання двигуна

$$n_{2\text{ном}} = n_1(1 - S_{\text{ном}}) = 1000(1 - 0,06) = 940 \text{ об/хв.}$$

Критичне ковзання

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}}(\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}) = 0,06(2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,288.$$

Номінальний і максимальний обертальні моменти:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{2\text{ном}}}{n_{2\text{ном}}} = 9,55 \cdot \frac{11 \cdot 10^3}{940} = 112 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{мах}} = \lambda_M \cdot M_{\text{ном}} = 2,5 \cdot 112 = 280 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Природну механічну характеристику $n_2(M)$ при $U_c = \text{const}$ отримуємо шляхом окремих розрахунків частоти обертання і обертального моменту, задаючись значеннями ковзання S від 0 до 1 у формулах:

$$n_2 = n_1(1 - S) = 1500(1 - S) \text{ об/хв};$$

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{мах}}}{S/S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}}/S} = \frac{2 \cdot 280}{S/0,288 + 0,288/S} = \frac{560}{S/0,288 + 0,288/S} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тепер, щоб отримати природну механічну характеристику, достатньо задати ряд значень S від 0 до 1 і виконати розрахунки за наведеними формулами. Значення ковзання S для механічної характеристики вибирається таким же чином, як і у прикладі 12. У тому числі, завжди треба робити розрахунок для значень ковзання $S_{\text{ном}}$ і $S_{\text{кр}}$.

Результати розрахунку зведено до табл.8, де ще додано значення $S'_{\text{кр}} = 0,576$, яке визначається далі ($S'_{\text{кр}}$ важливо для однієї з штучних характеристик).

За даними табл.8 на рис.12 зображено природну механічну характеристику $n_2(M)$ при $U = U_c$, $R_p = 0$

Таблиця 8 – Дані розрахунку механічних характеристик асинхронного двигуна

S	0	0,06	0,1	0,2	0,288	0,4	0,576	0,6	0,8	1,0
n_2 , об/хв	1000	940	900	800	712	600	434	400	200	0
M , Н·м при $U = U_c$, $R_p = 0$	0	112	173	262	280	265	223	218	178	149
M , Н·м при $U=0,9U_c$, $R_p = 0$	0	90	140	212	227	215	201	177	144	120
M , Н·м при $U = U_c$, $R_p = R_2$	0	58	94	173	223	262	280	278	265	242

Щоб отримати штучну механічну характеристику при зниженні напруги живильної мережі на 10 %, тобто при $U = 0,9U_c$, скористаємось такими ж формулами, що і у попередньому випадку для природної механічної характеристики. Але при цьому треба враховувати те, що максимальний обертальний момент змінюється у залежності від цієї напруги таким чином

$$M'_{\max} = \left(\frac{U}{U_c} \right)^2 \cdot M_{\max} = (0,9U_c)^2 M_{\max} = 0,81 \cdot 280 = 227 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тобто штучну механічну характеристику при таких умовах визначаємо для тих же значень ковзання S і частоти обертання n_2 , розраховуючи обертальний момент за формулою

$$M = \frac{2 \cdot M'_{\max}}{S/S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}}/S} = \frac{2 \cdot 227}{S/0,288 + 0,288/S} = \frac{454}{S/0,288 + 0,288/S} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

(як відомо, значення $S_{\text{кр}}$ не залежить від величини напруги живлення).

Результати розрахунків зведено до табл.8.

За даними табл.8 на рис.12 зображено штучну механічну характеристику $n_2(M)$ при $U = 0,9U_c$, $R_p = 0$.

Щоб отримати штучну механічну характеристику при введенні у фази обмотки ротора регулювальних реостатів з опорами $R_p = R_2$, розрахунок будемо вести за тими ж формулами, що вже використовувались. Але треба пам'ятати, що критичне ковзання залежить від сумарного активного опору фази і у цьому випадку дорівнює $S_{\text{кр}} = \frac{R_2}{X_{20}}$.

Тому, при додаванні до R_2 ще регулювального реостата з опором $R_p = R_2$

та збереженні індуктивного опора фази обмотки статора X_{20} , складемо пропорцію і отримаємо нове значення критичного ковзання для штучної механічної характеристики, що розглядається, тобто

$$S'_{\text{кр}} = \frac{R_2 + R_p}{R_2} \cdot S_{\text{кр}} = \frac{R_2 + R_2}{R_2} \cdot S_{\text{кр}} = 2 \cdot S_{\text{кр}} = 2 \cdot 0,288 = 0,576.$$

Максимальний обертальний момент M_{max} не залежить від R_2 та R_p і зберігається таким чином, що і для природної механічної характеристики (його тепер буде отримано при новому значенні критичного ковзання $S'_{\text{кр}}$). Зауважимо, що ця штучна механічна характеристика розраховується при напрузі живлення $U = U_c$.

Таким чином, штучну механічну характеристику при визначених умовах ($R_p = R_2$, $U = U_c$) отримуємо для тих же значень ковзання S і частоти обертання n_2 , що і в попередніх випадках, розраховуючи обертальний момент за модифікованою формулою

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{max}}}{S/S'_{\text{кр}} + S'_{\text{кр}}/S} = \frac{2 \cdot 280}{S/0,576 + 0,576/S} = \frac{560}{S/0,576 + 0,576/S} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результати розрахунків зведені до табл.8.

За даними табл.8 на рис.12 зображено штучну механічну характеристику $n_2(M)$ при $U = U_c$ і $R_p = R_2$.

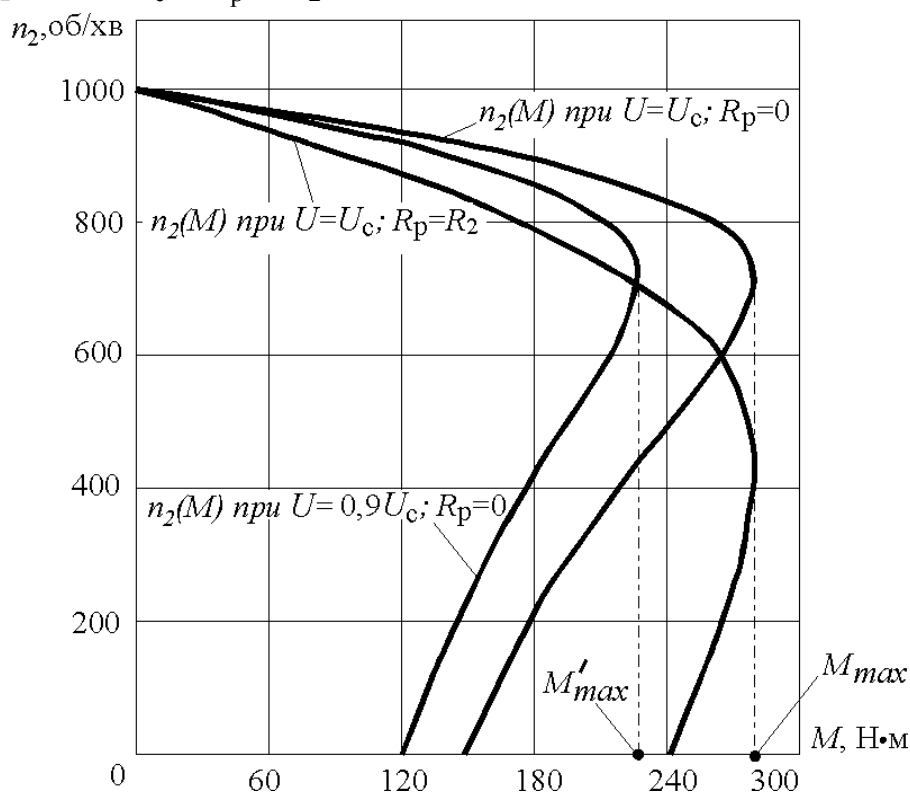


Рисунок 12

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Магнитные цепи и электротехнические устройства: Учеб. пособие / В.Г. Данько, В.И. Милых, А.К. Черкасов и др. –К.: УМК ВО, 1991. – 116 с.
2. Електротехніка: Навч. посібник для самостійної роботи студентів / В.Г. Данько, В.І. Мілих, А.К.Черкасов, В.Ф.Болюх. – К.: УМК ВО, 1990. – 264 с.
3. Трегуб А.П. Электротехника / Под ред. Е.В. Кузнєцова, Киев, Вища школа, 1987. – 600 с.
4. Касаткин А.С., Немцов В.М. Электротехника М.: Энергоатомиздат, 1993. – 440 с.
5. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1987. – 288 с.
6. Расчет параметров и характеристик магнитных цепей и электротехнических устройств: Задание к курсовой работе по курсу «Электротехника и электромеханика» / Сост. В.И. Милых – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 37 с.

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	3
2. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ	4
Задача 1. Параметры і характеристики однофазного трансформатора	4
Задача 2. Параметры і характеристики двигуна постійного струму з паралельним збудженням	5
Задача 3. Параметры і характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням	6
Задача 4. Параметры і характеристики трифазного асинхронного двигуна.....	7
3. ВАРІАНТИ ВХІДНИХ ДАНИХ	9
4. БЛАНКИ ДЛЯ ВХІДНИХ ДАНИХ	25
5. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ	26
5.1. Параметры і характеристики однофазного трансформатора	26
5.2. Параметры і характеристики двигуна постійного струму з паралельним збудженням	28
5.3. Параметры і характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням	26
5.4. Параметры і характеристики трифазного асинхронного двигуна	36

Навчальне видання

**РОЗРАХУНОК
ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ
З КУРСУ “ЕЛЕКТРОТЕХНІКА”**

для студентів усіх неелектротехнічних спеціальностей

Укладачі: МІЛИХ Володимир Іванович
ПОЛЯКОВ Ігор Володимирович
ЧЕРКАСОВ Анатолій Кузьмич

За ред. В.І. Мілих

В авторській редакції

Відповідальний за випуск В.Г. Данько

Роботу рекомендував до видання В.Т. Долбня

(видання друге стереотипне)

План 2001. поз. 216

Підписано до друку 14.10.2003 р. . Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1,8.
Обл.-вид. арк. 1,9. Наклад 400 прим. Зам. № 484. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
